



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**KANNETTAVAN RÖNTGENDIFRAKTIOMETRIN KÄYTTÖ
POHJAMOREENINÄYTTEIDEN ANALYSOINNISSA RAJAPALON Au-Co-
ESIINTYMÄN ALUEELLA, ETELÄ-LAPISSA**

Jonna Mäkinen

GEOTIETEET

Pro gradu -tutkielma

Heinäkuu 2021

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Oulun yliopisto Teknillinen tiedekunta

Koulutusohjelma (kandidaatintyö, diplomityö)		Pääaineopintojen ala (lisensiaatintyö)	
Geotieteiden koulutusohjelma			
Tekijä		Työn ohjaaja yliopistolla	
Mäkinen, Jonna		Sarala Pertti, professori	
Työn nimi Kannettavan röntgendiffraktiometrin käyttö pohjamooreeninäytteiden analysoinnissa Rajapalot Au-Co-esiintymän alueella, Etelä-Lapissa			
Opintosuunta	Työn laji	Aika	Sivumäärä
Maaperägeologia	Pro Gradu -tutkielma	Heinäkuu 2021	88 s., 2 liitettä
Tiivistelmä			
<p>Mawson Gold on toteuttanut Rajapalon mineralisaation ympäristössä laajaa koneellista pohjamooreeninäytteenottoa, jonka avulla on pyritty löytämään viitteitä mahdollisista uusista mineralisaatiosta sekä saamaan yleistä tietoa alueen geologisista piirteistä. Tässä tutkimuksessa testattiin kannettavan röntgendiffraktiometrin (pXRD) käyttöä ja toimivuutta pohjamooreeninäytteiden mineralogisessa analysoinnissa. Tarkoituksena oli testata menetelmän toimivuutta moreeninäytteille sekä löytää mahdollisia uusia tutkimuskohteita alueelta.</p> <p>Tutkimukseen valittiin 27 moreeninäytettä eripuolilta tutkimusalueelta, siten että näytteiden uskottiin edustavan alueen todellista pohjamooreenia. Näytteistä analysoitiin pXRD-analysaattorin avulla laboratoriosta saatu pulverinäyte. Lisäksi osalle näytteistä tehtiin lisäanalyysi analysoimalla pXRD:n avulla myös näytteen sisältämät kivinapit. pXRD-analyysin lisäksi tuloksia pyrittiin varmistamaan analysoimalla näytteitä Oulun yliopiston Materiaalianalyyssikeskuksen laboratoriomallin XRD-analysaattorilla. Tästä analyysistä saatuja tuloksia verrattiin pXRD-analysaattorilla saatuihin tuloksiin menetelmän toimivuuden arvioimiseksi.</p> <p>Näytteet muodostivat analyysin aikana mineraalipiikkejä, joita tunnistettiin tietokoneohjelmien avulla vertaamalla piikkejä olemassa oleviin mineraalitietokantoihin. Tutkimuksessa verrattiin eri näytepisteistä tunnistettuja mineraaleja ja näiden eroja sekä mineralogista jakaumaa alueella. Tutkimuksessa verrattiin myös eri analyysimenetelmillä tunnistettuja mineralogisia eroja samassa näytteessä sekä prosentuaalisia eroja tunnistettujen mineraalien välillä.</p> <p>Tutkimuksessa voitiin todeta tutkimusalueen näytepisteiden mineralogian olevan keskenään verraten hyvin samankaltainen ja selkeästi erottuvia tutkimuspisteitä alueelta oli hankala tunnistaa. Tutkimusalueelta voitiin kuitenkin osoittaa neljä kohtaa, joiden tutkimuspisteiden mineralogia poikkesi hieman alueen yleisestä mineralogiasta ja nämä poikkeamat voivat olla merkkejä alueen kallioperän vaihteluista. Suurin alueella tunnistetuista mineralogisista poikkeamista sijaitsee Palokkaan mineralisaation läheisyydessä ja tämän voidaan uskoa olevan merkki mineralisaatiosta. Tunnistettujen mineralogisten poikkeamien varmistamiseksi, tulisi alueella kuitenkin analysoida useampia näytepisteitä pXRD-analysaattorin avulla.</p> <p>Eri analyysimenetelmiä vertaillen voitiin todeta pXRD-analysaattorin tunnistavan mineraaliryhmiä ja näiden prosentuaalisia osuuksia näytteestä kohtuullisen hyvin, mutta yksittäisten mineraalien nimeäminen luotettavasti oli haastavaa. Tutkimuksessa voitiin todeta analyysimenetelmän toimivan kohtuullisen hyvin pohjamooreeninäytteiden yleisten mineraalien, kuten albiitin ja kvartsin tunnistamiseen. Kaikista pienimmät mineraalipitoisuudet saattoivat kuitenkin hävitä näytteen taustakohinaan ja jäädä kokonaan tunnistamatta. Pienimpien mineraalipitoisuuksien nimeäminen oli myös haastavaa mineraalipiikkien vähyyden takia.</p>			
Muita tietoja			
Avainsanat: pXRD, XRD, mineralogia, pohjamooreeni, Rajapalot			

ABSTRACT FOR THESIS

University of Oulu Faculty of Technology

Degree Programme (Bachelor's Thesis, Master's Thesis) Degree Program in Geosciences		Major Subject (Licentiate Thesis)	
Author Mäkinen Jonna		Thesis Supervisor Sarala Pertti, professor	
Title of Thesis Use of portable X-ray diffractometer for the analysis of base of till samples in the Rajapalot Au-Co deposit, Southern Lapland			
Major Subject Quaternary geology	Type of Thesis Master's Thesis	Submission Date July 2021	Number of Pages 88 p., 2 App.
<p>Abstract</p> <p>Mawson Gold Ltd. has done extensive mechanical base of till sampling in the surrounding area of the Rajapalot mineralization, which has been used to find indications of possible new mineralizations and to obtain general information about the geological features of the area. This study tested the use and functionality of a portable X-ray diffractometer (pXRD) for mineralogical analysis of base of till samples. The purpose was to test the suitability of the method for base of till samples and to identify possible new research sites in the area.</p> <p>For the study, 27 base of till samples were selected around the study areas so that the samples were estimated to represent the actual base of till of the area. Powder samples obtained from the laboratory were analyzed with a pXRD analyzer. In addition, some of the samples were also analyzed by analyzing the rock chips contained in the sample using pXRD. Including to the pXRD analysis, the results were verified by analyzing the samples with the laboratory-XRD analyzer of the Materials Analysis Center of the University of Oulu. The results obtained from this analysis were compared with those obtained with a pXRD analyzer to evaluate the reliability of the method.</p> <p>During the analysis, mineral peaks from the till samples were identified by computer programs by comparing the peaks with existing mineral databases. The study compared the minerals identified from different sample points and their differences as well as the mineralogical distribution in the area. The study also compared the mineralogical differences identified by different analytical methods in the same sample as well as the percentage differences between the identified minerals.</p> <p>Based on the results, the mineralogy of the till in generally seemed to be similar in the whole study area, and it was difficult to identify clearly distinguishable sample points in the study area. However, in the four groups of points the general mineralogy is slightly differing from the other areas, and these mineralogical differences may represent differences in the lithological units of the area. However, to confirm the identified mineralogical anomalies, more sample points in the region should be analyzed using a pXRD analyzer. Most of the mineralogical deviations identified in the area were in proximity to the Palokas mineralization and this can be believed to be a sign of mineralization.</p> <p>Comparing different analytical methods, it was found that the pXRD analyzer recognizes mineral groups and their percentages reasonably well, but it was challenging to name individual minerals reliably. It was found that the method of analysis performed reasonably well for the identification of common minerals such as albite and quartz from base of till samples. However, the lowest mineral concentrations of all could disappear into the background noise of the sample and remain completely unidentified. Naming the lowest mineral concentrations was also challenging due to the small number of mineral peaks.</p>			
<p>Additional Information</p> <p>Keywords: pXRD, XRD, mineralogy, base of till, Rajapalot</p>			

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ALUEELLINEN GEOLOGIA.....	8
2.1	Peräpohjan vyöhyke.....	8
2.1.1	Tutkimusalueen geologia	10
2.1.2	Mineralisaatiot	11
2.2	Pohjois-Suomen maaperä	12
2.2.1	Moreenistratigrafia.....	13
2.2.2	Morfologia	15
3	RÖNTGENDIFFRAKTIO	18
3.1	Röntgendiffraktiomenetelmä	18
3.2	Jauhediffraktiomenetelmä.....	22
4	MINERALOGIA.....	23
4.1	Päämineraaliryhmät	23
4.2	Tutkimusalueen mineralogia.....	27
4.3	Mineraalien tunnistaminen röntgendiffraktion avulla	28
5	NÄYTTEET	29
5.1	Näytteiden valinta	29
6	NÄYTTEIDEN ANALYSOINTI	35
6.1	Olympus Terra pXRD.....	35
6.2	Näytteiden esikäsittely ja mittaaminen pXRD-analysaattorilla.....	36
6.3	pXRD-analyysitulosten tulkinta	40
6.4	Rigaku SmartLab 9 XRD.....	41
7	TUNNISTETTUIJEN MINERAALIEN MINERALOGIA.....	42
7.1	SiO ₂ -ryhmä	45
7.2	Amfiboliryhmä	46

7.3	Maasälpäryhmä.....	48
7.4	Kiilleryhmä.....	50
7.5	Kalsiittiryhmä.....	52
7.6	Kloriittiryhmä.....	53
7.7	Spinelliryhmä.....	54
7.8	Sulfidit.....	55
7.9	Sulfaatit.....	55
8	TULOKSET.....	56
8.1	Pulverinäytteistä pXRD-analysaattorilla tunnistetut mineraalit.....	56
8.2	Kivinäytteistä pXRD-analysaattorilla tunnistetut mineraalit.....	59
8.3	Rigaku XRD-analysaattorilla tunnistetut mineraalit.....	60
8.4	Pulverinäytteiden ja kivinäytteiden tulosten vertailu pXRD-analyysissä.....	61
8.5	Rigaku XRD- ja pXRD-analyysitulosten vertailu.....	66
9	TULOSTEN TULKINTA.....	74
9.1	Tuloksien tarkastelu kartalla.....	74
9.2	Tuloksien yhteensopivuus alueen kallioperään ja tunnettuun mineralogiaan ...	78
9.3	Mahdolliset virhelähteet.....	78
9.3.1	Näytteiden valinta.....	78
9.3.2	Näytteiden käsittely.....	79
9.3.3	Näytteiden analysointi pXRD-analysaattorilla.....	80
9.3.4	Analyysitulosten tulkinta.....	80
10	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	81
10.1	Mineralogia.....	81
10.2	Menetelmän toimivuus moreeninäytteille.....	82
	VIITTEET.....	85
	LIITTEET.....	88

1 JOHDANTO

Mineralogia on geologiaan kuuluva tieteenala, jonka tarkoituksena on tutkia mineraalien kiderakenteita sekä kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia. Mineraaleja voidaan luokitella näiden edellä mainittujen ominaisuuksien perusteella erilaisiin mineraaliryhmiin. Mineraalit voidaan erottaa toisistaan helpoiten niiden fysikaalisten ominaisuuksien perusteella, kuten värin, kovuuden ja kiderakenteen avulla (Klein, et al., 1993). Mineraalien tunnistamisessa voidaan käyttää apuna myös erilaisia analyysimenetelmiä. Yksi näistä menetelmistä on röntgendiffraktiomenetelmä, jossa mineraalien tunnistaminen perustuu kiderakenteiden tunnistamiseen röntgensäteilyn diffraktoitumisen perusteella. Röntgendiffraktiota voidaan käyttää yksittäiseen kiteeseen tai jauheeseen, joka sisältää lukuisia mineraalikiteitä. Yksittäistä kidettä tutkittaessa saadaan tarkkaa tietoa mineraalikiteen ominaisuuksista. Jauheita tutkittaessa voidaan puolestaan keskittyä eri mineraalien erottamiseen näytteestä ja mineraalien määrän suhteiden arviointiin (Zoltai & Stout, 1984).

Mineralogian voidaan käyttää pohjana monille geologisille tutkimuksille ja mineralogian hyvä ymmärtäminen auttaa ymmärtämään tutkimusalueen kallioperää, maaperää ja kehityshistoriaa paremmin. Mineraaleista voidaan tunnistaa alueella tapahtuneita muuttumisia sekä mahdollisia viitteitä malmeista. Mineralogisia määrittelyjä voidaan tehdä eri menetelmin ja analyysin kallioperänäytteille tai maaperänäytteille kuten moreenille.

Suomen maaperä on muovautunut monien jääkausien aikana jään liikkeen kuluttaessa ja kerrostaessa maan pintaa. Valittu tutkimusalue sijaitsee Lapissa, jossa nykyinen maaperä on muodostunut pääsääntöisesti viimeisen jäätiköitymisen aikana. Nykyisen maaperäkerroksen alta löytyy myös monin paikoin aikaisempien jäätiköitymisvaiheiden aikana muodostuneita kerroksia. Yleisin maalaji Lapin alueella on moreeni, joka on jäätikön kuluttamaa ja kerrostamaa sekalajitteista ainesta ja se sisältää reaktiivista hienoaaineksesta aina isompiin kivenlohkareisiin asti. Moreenin kerrokset voidaan usein luokitella karekasti kahteen tyyppiin: alempaan ja tiiviiseen pohjamoreenikerrokseen

sekä ylempään, löyhästi kerrostuneeseen pintamoreenikerrokseen. Lisäksi moreenia on voinut kerrostua itsenäisiin moreenimuodostumiin kuten moreenikumpuihin. Moreenia voidaan luokitella myös esimerkiksi sen raekokojakauman, alkuperän tai kerrostumistavan ja -ajan perusteella (Johansson & Kujansuu, 2005; Hirvas, 1991).

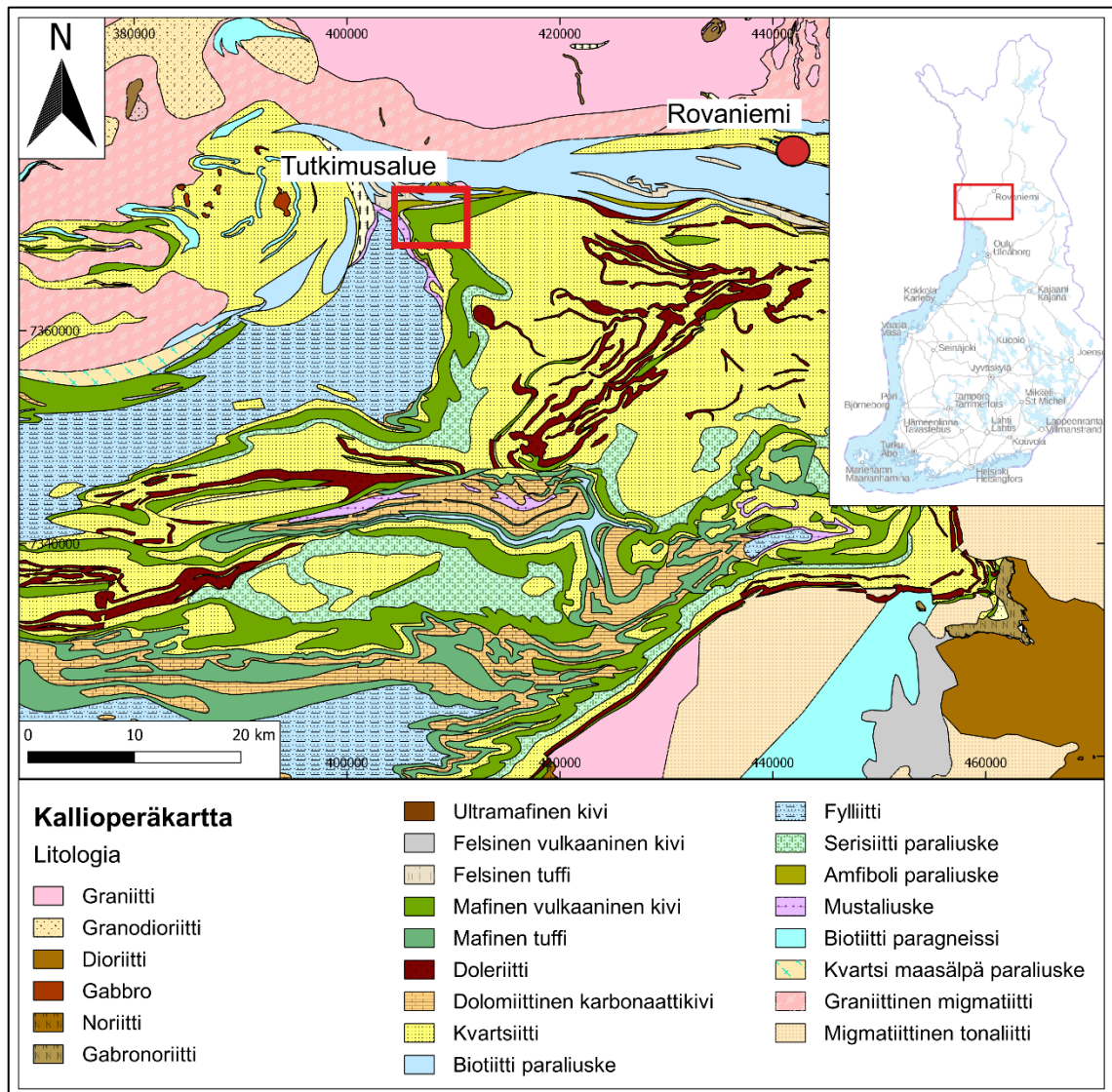
Tutkimusalue sijaitsee Pohjois-Suomessa Ylitornion kunnassa, noin 50 km päässä Rovaniemeltä. Alue sijaitsee paleoproterotsooisien Peräpohjan vyöhykkeen pohjoisosissa ja alueella esiintyy sedimenttisiä ja vulkaanisia kivilajeja (Ranta, 2018). Tutkimusalue on pääosin glasiogeenisen moreenin peitossa ja alueella tavataan kalliopaljastumia vähän. Moreenipeitteisyys alueella vaikuttaa alueen kallioperän tutkimiseen ja kivilajien määrittämiseen merkittävästi (Ranta, 2018). Merkittävimpiä löytäjiä viime vuosina Peräpohjan alueella on ollut Rompaksen sekä Rajapalojen mineralisaatioiden löytyminen. Näiden löytöjen myötä alue on lisännyt kiinnostavuutta malminetsintäkohteena ja alueelle on tehty paljon uusia malminetsintävarauksia. Maaperäpeitteen merkittävyyden seurauksena alueella on tehty laajaa pohjamoreeninäytteenottoa eli base of till (BOT) -näytteenottoa.

Tässä tutkielmassa on tarkoituksena tutkia mahdollisuutta tunnistaa mineraaleja pohjamoreeninäytteistä kannettavalla röntgendifraktiometrin (pXRD) avulla. Mineraalien tunnistamisesta saatavaa tietoa pystytään käyttämään malminetsinnän suunnittelussa näytteille yleisesti tehtävän geokemiallisen määrittelyn ohella. Moreeninäytteiden mineralogia heijastaa usein alueen kallioperän mineralogian ja näytteistä tunnistettujen mineraalien avulla voidaan tunnistaa alueen kallioperän erityispiirteitä. Näytteistä voidaan tutkia esimerkiksi mahdollisille mineralisaatioille tyypillisiä mineraaleja kuten sulfideja tai muuttumisille tyypillisiä mineraaleja kuten kiilteitä. Tätä tutkimusta varten valittiin 27 pohjamoreeninäytettä, joiden uskottiin edustavan alueen todellista pohjamoreenia. Näytteille tehtiin pXRD-analyysi sekä täydentäviä analyysejä Oulun yliopiston laboratorio XRD-analysaattorilla. Näytteistä pyrittiin löytämään mineraaleja, joita alueen mineralisaatiossa esiintyy ja täten mahdollisesti hyödyntämään pXRD-analyysimenetelmää tulevaisuuden malminetsinnässä.

2 ALUEELLINEN GEOLOGIA

2.1 Peräpohjan vyöhyke

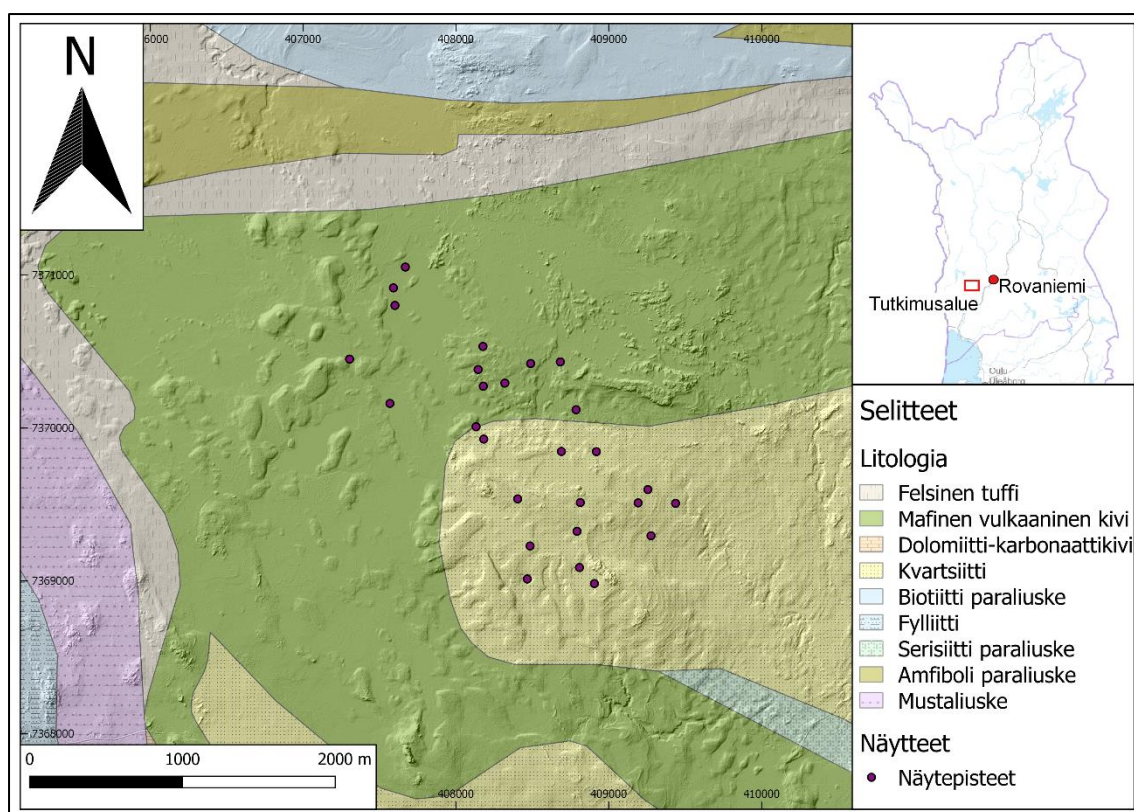
Pohjois-Suomen kallioperä voidaan jakaa pääosin vanhempaan arkeeseen pohjaan ja nuorempaan paleoproterotsooiseen suprakrustiseen kuoreen. Nuorempi paleoproterotsooinen suprakrustinen kuori voidaan jakaa edelleen kolmeen eri vyöhykkeeseen, jotka ovat syntyneet vulkaanis-sedimentaarisen toiminnan seurauksena. Nämä vyöhykkeet ovat Keski-Lapin vyöhyke (Central Lapland Belt), Peräpohjan vyöhyke (Peräpohja Belt) sekä Kuusamon vyöhyke (Kuusamo Belt) (Köykkä & Luukas, 2019). Peräpohjan vyöhyke on muodostunut kerrostuessaan noin 2.4–1.9 miljardia vuotta sitten arkeisen kuoren repeämisen seurauksena muodostuneeseen altaaseen. Peräpohjan alue koostuu pääsoin kvartsiiteista, mafisista vulkaniiteista ja vulkanoklasteista, mustaliuskeista, kiilleliuskeista, karbonaattikivistä sekä hiekkakivistä (Vanhanen et al., 2015, Huhma et al. 1990). Peräpohjan vyöhykkeen kallioperäkartta sekä tutkimusalueen sijainta vyöhykkeeseen nähden on esitetty kuvassa 1. Tutkimusalue sijaitsee Peräpohjan vyöhykkeen pohjoisosissa ja vyöhyke rajautuu pohjoisessa Keski-Lapin granitoidikompleksiin, joka rajautuu kuvan 1 kartassa vaaleanpunaisena alueena kartan Pohjoisreunassa.



Kuva 1. Peräpohjan vyöhykkeen kallioperäkartta. Tutkimusalue sijoittuu Peräpohjan vyöhykkeen pohjoisosaan. Alueella vallitsevia kivilajeja ovat kvartsiitti, mafinen vulkaniitti. (Muokattu: Kallioperäkartta 1:200 000 © Geologian tutkimuskeskus 2021 ja Avoimien aineistojen tiedostopalvelu © Maanmittauslaitos 2021)

2.1.1 Tutkimusalueen geologia

Rajapalojen alue sijaitsee Peräpohjan vyöhykkeen pohjoisosissa. Alueen kallioperä koostuu vaihtelevasti kvartsiiteista, metasedimenteistä, kalkkisirilikaatti-albiittikivistä, kordieriitti-ortoamfibolikivistä sekä vulkaanisista ja intrusiivisista mafisista kivistä. Aluetta peittävän paksun glasiaalisen maapeitteen ja siitä johtuvat kalliopaljastumien vähäisyyden takia on alueen kallioperä vielä osittain tuntematon. (Ranta et al., 2018)



Kuva 2. Tutkimusalueen yksinkertaistettu kallioperä ja näytepisteet esitettynä kartalla. Valittujen näytepisteiden kohdalla alueen kallioperä on pääosin mafista vulkaanista kiveä ja kvartsiittia. (Muokattu: Kallioperäkarta 1:200 000 © Geologian tutkimuskeskus 2021 ja Avoimien aineistojen tiedostopalvelu © Maanmittauslaitos 2021)

2.1.2 Mineralisaatiot

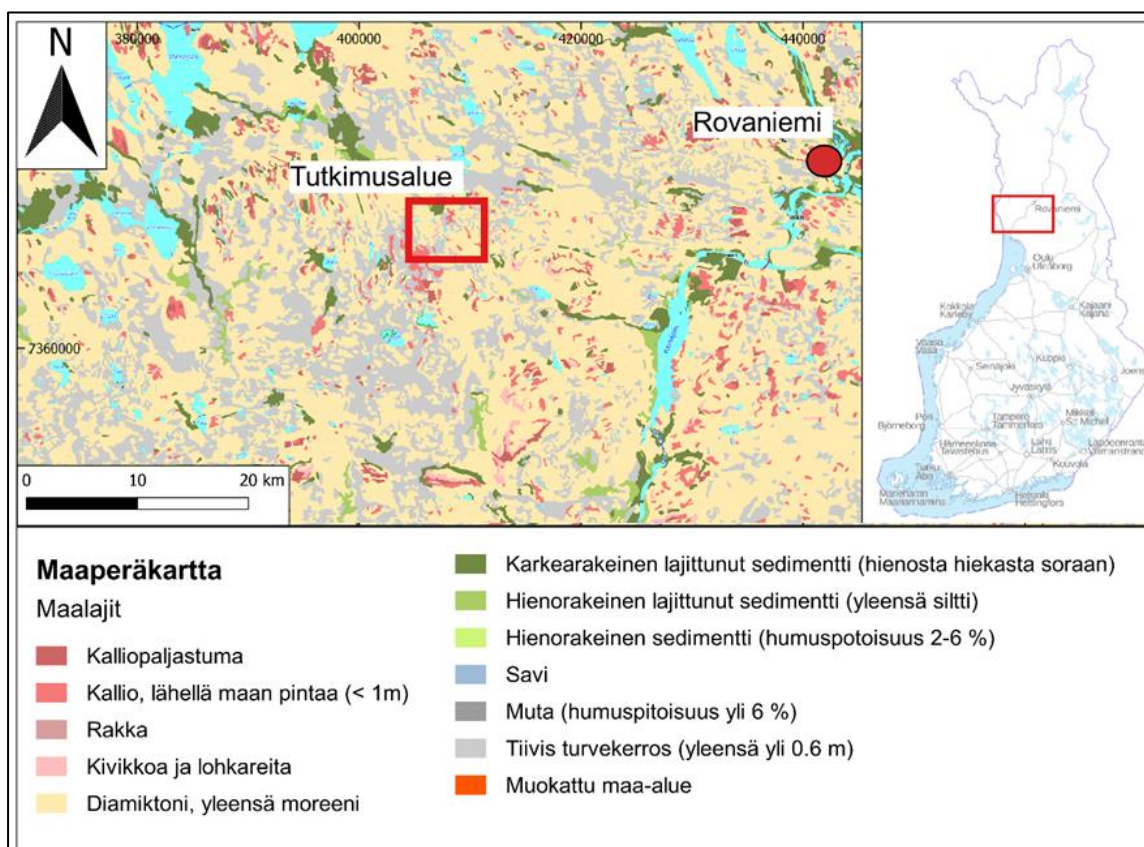
Tutkimusalueelta on löydetty monia toisistaan poikkeavia mineralisoituneita alueita, joista merkittävin on Palokkaan kultamineralisaatio (Ranta, 2018). Lisäksi alueella tunnetaan Rumajärvi-, Etelä-Palokas- sekä Hut-esiintymät (Mawson, 2021). Rajapalot alueen mineralisoituneiden kivien isäntäsekvenssi on jaettu kahteen jaksoon. Ensimmäinen sekvenssi koostuu siliklastista, dolomiittikarbonaattista ja albiittiutuneesta metasedimenttisestä sekvenssistä. Toinen sekvenssi on metasedimentaarinen sekvenssi, joka koostuu peliittisista metasedimenteistä, arkoosihiekoista, karbonaateista, kvartsiittisista hiekkakivistä sekä sulfidisista kivistä. (Cook & Hudson, 2018)

Palokkaan kultamineralisaatio edustaa laajaa hydrotermistä systeemiä pohjoisosissa Peräpohjan vyöhykkeellä ja se koostuu useista mineralisoituneista osista (Ranta et al., 2018). Mineralisaation isäntäkivenä toimii kordieriitti-ortoamfiboli yksikkö, jossa esiintyy välikerroksina kalkkisilikaatteja albiittia ja intrusiivisia amfiboliitteja. Mineralisaatiolle tyypillisiä mineraaleja ovat antofylliitti ja kummingtoniittisarjojen Fe-Mg-amfibolit, turmaliini, kordieriitti, granaatti, magnetiitti, magneettikiisu sekä rikkikiisu (Ranta et al., 2018).

Palokkaan kultamineralisaatiotyyppin lisäksi alueella on tunnistettu myös niin kutsuttu Rumajärvi-tyypin mineralisaatio, joille tyypillistä on kaliummuuttuminen. Rumajärvi-tyypin mineralisaatioissa tyypillisiä mineraaleja ovat kiillemineraalit, kloriitti, kvartsi, albiitti, amfibolit, turmaliini, magneettikiisu, rikkikiisu ja kuparikiisu (Cook & Hudson, 2018). Isäntäkivenä alueella esiintyy kvartsikiille liuskeita sekä albiittisia metasedimenttejä. (Taipale, 2018)

2.2 Pohjois-Suomen maaperä

Pohjois-Suomen maaperä on muodostunut pääosin viimeisimpien jääkausien aikana jäätikön ja sen sulamisvesien vaikutuksen alaisina. Kallion topografia mukailee suuria ja laakeita linjoja, joka on mahdollistanut kohtuullisen yhtenäisen maaperäkerroksen muodostumisen koko Pohjois-Suomen alueelle. Maapeite peittää lähes koko Pohjois-Suomea tunturiseutuja lukuun ottamatta, mutta sen keskipaksuus on eteläisempään Suomeen verrattuna pienempi. Yleisin maalaji Pohjois-Suomessa on moreeni (kuva 3) (Johansson & Kujansuu, 2005)

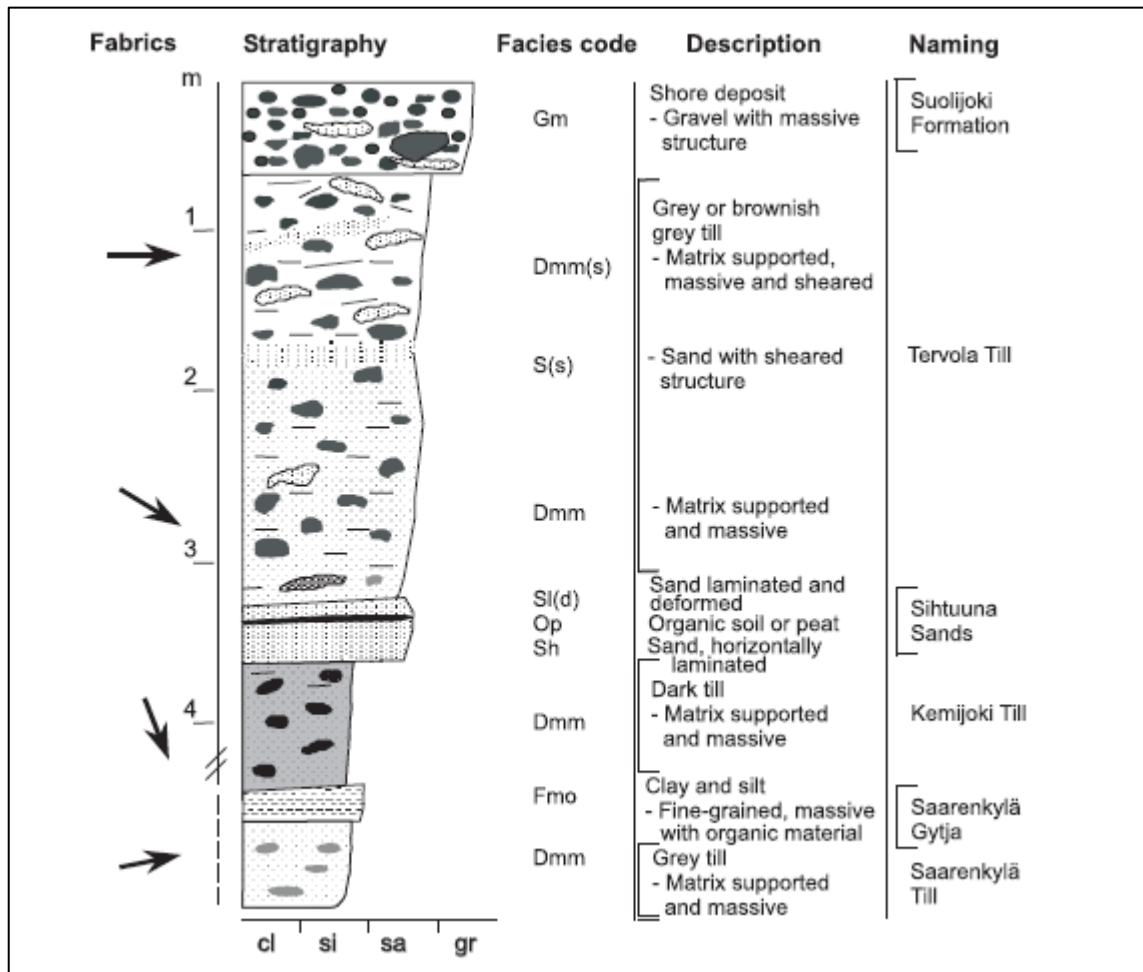


Kuva 3. Maaperäkartta Peräpohjan alueelta. Päämaalajia alueella edustaa diamiktoni, joka yleensä on moreenia. Kalliopaljastumia alueella esiintyy suhteellisen vähän. Jokien ja vesistöjen lähellä sijaitsee lajittuneita sedimenttejä. Alueella sijaitsee myös merkittävä määrä turvekerrostumia. (Muokattu: Maaperäkartta 1:200 000 (maalajit) © Geologian tutkimuskeskus 2021 ja Avoimien aineistojen tiedostopalvelu © Maanmittauslaitos 2021)

2.2.1 *Moreenistratigrafia*

Pohjois-Suomen moreenistratigrafia koostuu usein pintamoreenista sekä tämän alapuolella sijaitsevista eri ikäisistä moreenipatjoista. Moreenipatjat voidaan luokitella 3 nuorempaan moreenipatjaan sekä näitä moreenipatjoja vanhempiin moreenipatjoihin. Nykyinen käsitys Pohjois-Suomen moreenistratigrafiasta perustuu suurelta osin Hirvas et al. vuonna 1977 julkaisemaan ”Malminetsintää palvelevat maaperätutkimukset”, sekä tämän jälkeen tehtyihin enemmän paikallisiin tutkimuksiin. Tutkimus koostui sadoista tutkimuskaivannoista ja kuopista, joilla pyrittiin muodostamaan käsitys Pohjois-Suomen moreenistratigrafiasta ja moreenin kulkeutumisesta alueella (Hirvas, 1991; Johansson & Kujansuu, 2005). Pohjois-Suomessa on havaittu viisi jäätikön virtausvaihetta, jotka kaikki ovat kuljettaneet moreenia. Vaiheiden 4 ja 5 muodostamia moreeneita tavataan kuitenkin nykyisin vain vähänlaisesti ja näiden vaiheiden kerrostamat moreenipatjoja (moreenipatjat 4–5) esiintyvät pääsääntöisesti vain Keski-Lapin jäänjakaja-alueella (Hirvas 1991). Maan pinnalla ylimpänä sijaitsevaa moreenikerrosta kutsutaan pintamoreeniksi. Pintamoreeni on löyhästi kerrostunutta moreeniainesta, jonka keskimääräinen paksuus on noin 0,8 metriä. Pintamoreeni on väriltään usein ruskean sävyinen ja se vaihtuu alaspäin mentäessä harmaammaksi ja tiiviimmäksi pohjamoreeniksi (Johansson & Kujansuu, 2005).

Etelä-Lapin alueelta on voitu tunnistaa kolme moreenipatjaa sekä näiden lisäksi kaksi välikerrosta, jotka sisältävät myös orgaanista ainesta. Tunnistetut moreenipatjat vanhimmasta nuorimpaan ovat Saarenkylä moreeni, Kemijoki moreeni sekä Tervola moreeni (Sarala, 2005). Moreenipatjat ja näiden välikerrokset on esitetty alla kuvassa 3.



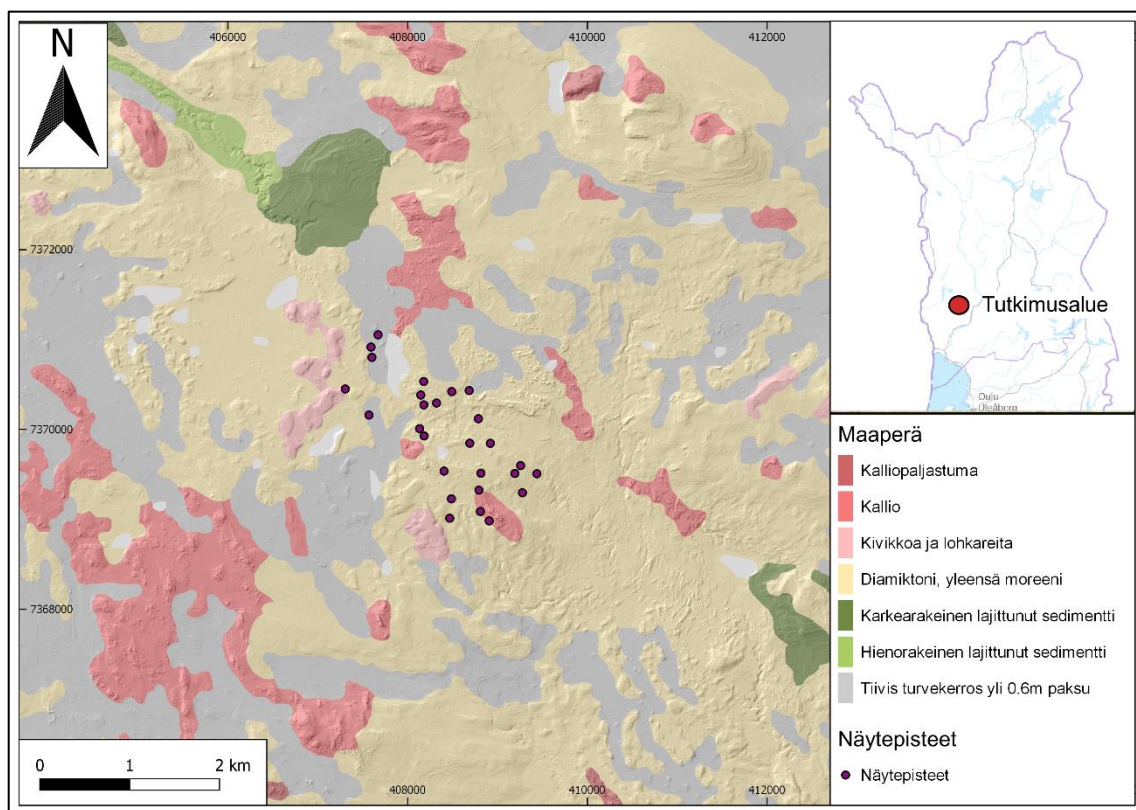
Kuva 4. Etelä-Lapin alueen moreenistratigrafinen tulkinta (Sarala, 2005).

Alin ja vanhin moreenikerros on Saarenkylä-moreeni, joka on koostumukseltaan hyvin tiivis ja väriltään harmaa. Saarenkylä-moreenin päälle on kerrostunut noin kahden metrin paksuinen kerros mutaa. Tätä kerrosta kutsutaan Saarenkylä-mudaksi ja se koostuu pääosin orgaanisesta mudasta sekä siltistä. Kemijoki-moreeni on alueen toinen moreenipatja, joka on väriltään sinertävän harmaa. Savirikkaan matriisin seurauksena moreenin rakenne on tiivis ja se on ylikondolisoitunut jäätikön ylivirtauksen seurauksena. Kemijoki-moreeni sisältää myös paljon orgaanista ainesta sekä sedimenttejä, jotka ovat peräisin edeltävältä lämpimältä kaudelta, Eem-interglasiaaalilta. (Sarala, 2005; Sutinen, 1992)

Tervola-moreeni on tunnetuista moreenipatjoista ylimpänä ja se koostuu kolmesta moreeniyksiköstä. Alimpana yksikkönä on Vammavaaran harmaata hiekkamoreenia. Keskimmäinen moreenikerros, Petäjävaara-moreeni esiintyy ainoastaan ribbed-moreenien harjanteilla. Tälle moreeniyksikölle on tyypillistä karkearakeinen matriisi, jossa esiintyy myös suuria kivilohkareita. Tämä moreeni koostuu pääosin materiaalista, joka on kulkeutunut vain lyhyen matkan alueella. Moreenissa esiintyvät kivet kuvaavat usein alueen kallioperää ja ovat muodoltaan kulmikkaampia kuin alemman Vammavaaran moreeniyksikön kivet. Ylin alueella esiintyvistä moreeniyksiköistä on Korttelivaaran moreeniyksikkö, joka on yleiseltä koostumukseltaan hyvin vaihteleva ja joissakin paikoin hyvinkin homogeeninen. Moreeniyksikkö sisältää paikoitellen suuren määrän kerrostuneita sedimenttejä, jotka esiintyvät moreeniyksikössä linsseinä ja kerroksina (Sarala, 2005).

2.2.2 Morfologia

Tutkimusalueen ja koko Etelä-Lapin nykyiseen maaperään on merkittävimmin vaikuttanut viimeisin, Myöhäis-Veikseliksi nimetty jäätiköitymisvaihe. Alueen yleisin maalaji on moreeni (kuva 3). Maaperä on muovaantunut jäätikön aktiivisten osien vaikutuksesta, kun maaperän sedimentit ja tuore moreeni ova erodoituneet, muodostaen erilaisia maaperämuodostumia. Muodostumatyypeistä tyypillisimpiä ovat jäätikön liikesuuntaan nähden poikittaiset ribbed-moreenit. Nämä muodostumat kuvaavat hyvin jäätikön aktiivista liikettä, joka on suuntautunut pääosin poikittain jäätikön länsi-itä-suuntaista liikesuuntaa vastaan (270-290° tulosuunta). (Sarala, 2005)



Kuva 5. Viitteellinen maaperäkartta tutkimusalueen ympäristöstä. Vallitsevana maalajina alueella esiintyy moreeni. Lisäksi alueella tavataan yleisesti karkea- ja hienorakeisia lajittuneita sedimenttejä, kivikkoja sekä turvekerrostumia. (Muokattu: Maaperäkartta 1:200 000 (maalajit) © Geologian tutkimuskeskus 2021 ja Avoimien aineistojen tiedostopalvelu © Maanmittauslaitos 2021)

Tutkimusalueen maaperä koostuu pitkälti jäätikkösyntyisistä moreenimuodostumista, moreeniharjanteista sekä pintamoreenikerroksista. Alueen keskiosaa halkoo pitkä, luoteis-kaakko -suuntainen jäätikön sulamisvesien synnyttämä kanava (subglasiaalinen uoma), jonka vaikutuksesta alueelle on muodostunut uudelleenlajittuneita moreeneita, sora- ja hienorakeisia muodostumia ja suuria glasiogluviaalisia muodostumia kuten deltoja. Sulamisvesikanava on huuhdellut myös paikoitellen alueen maaperää pois paljastaen paikka paikoin kallion pintaa. (Sarala, 2014)

Alueella sijaitsevat matalammat maa-alueet ovat tyypillisesti ohuen turvekerroksen sekä sen alapuolisen hienoaineskerroksen peittämiä. Hienoaineskerrokset, kuten siltti ja savi ovat muodostuneet alueelle jääkauden jälkeen Ancylusjärven aikana. Ancylusjärvi peitti aluetta noin 1000 vuoden ajan, jonka jälkeen alueelle muodostui Litorinameri. Ancylusjärven muuttuessa Litorinamereksi alueen vedenpinta laski noin tasolle 90 m meren pinnan yläpuolelle (mpy), kun aikaisemmin sen ylin korkeus oli jopa 219 m mpy. Veden pinnan laskemisen myötä, veden aaltoliike on huuhdellut paikoin hienoainesta pois paljastaen karkeampaa kivi- ja kallioainesta. Lisäksi vesi on kerrostanut alueelle rantamuodostumia, huuhtoutuneita kivikenttiä sekä sora- ja hiekka-alueita. (Sarala, 2014)

3 RÖNTGENDIFFRAKTIO

3.1 Röntgendiffraktiomenetelmä

Röntgendiffraktiomenetelmää (X-ray diffraction) voidaan käyttää tunnistamaan eri mineraaleja niiden kiderakenteen perusteella. Menetelmän avulla voidaan analysoida useimpia jauhettuja ja kiinteitä näytteitä. Amorfisiin aineisiin, kuten lasiin röntgendiffraktiomenetelmä ei kuitenkaan toimi. Röntgendiffraktio perustuu röntgensäteilyyn, joka on lyhytaaltoista sähkömagneettista säteilyä ja aiheuttaa atomin alemmilla elektroniorbitaaleilla viritystilan muutoksia. Röntgensäteilyn aallonpituus vaihtelee 0,01–10 nm välillä, joka vastaa 0,125–125 keV välistä energiaa. Röntgensäteilyn energiaa voidaan kuvata kaavan 1 avulla. (Ermrich & Oppen, 2013)

Kaava 1. Röntgensäteilyn energian kaava (Ermrich & Oppen, 2013)

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

h = Planckin vakio

ν = taajuus

c = valon nopeus

λ = aallon pituus

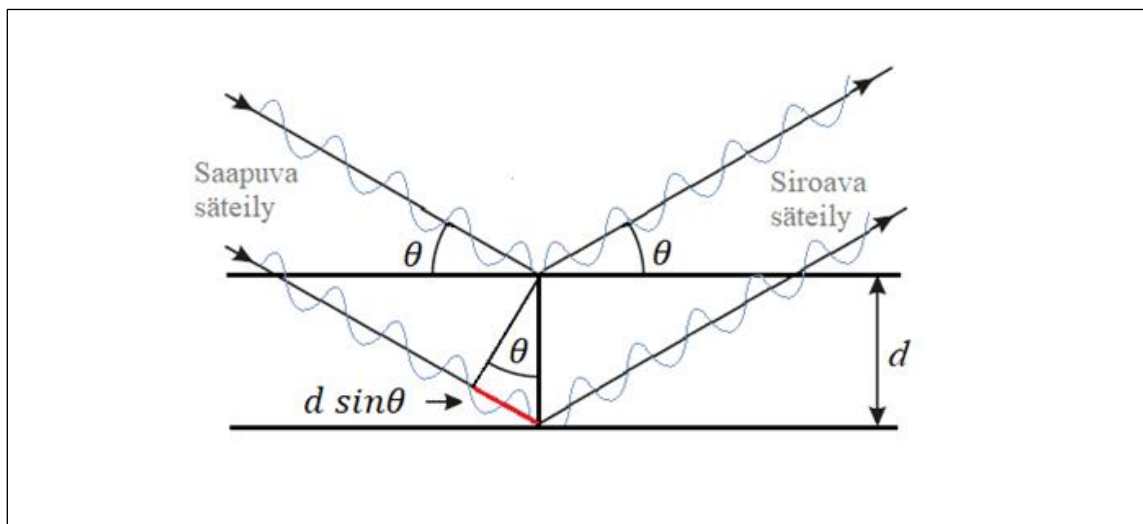
Röntgendiffraktio perustuu vuonna 1913 keksittiin Braggin lakiin (kaava 2), joka kuvaa säteilyn siroamista kiteestä. Diffraktiolla tarkoitetaan atomin elektroneista siroavaa valoa, jonka voimakkuus vaihtelee elektronien määrän mukaan. Valonsäteet heijastuvat takaisin kidehilan verkkopinnalta tietyissä kulmissa muodostaen diffraktiokuvion, jonka avulla

saadaan tietoa atomien järjestyksestä kiteessä. Braggin laissa saapuvien ja heijastuvien säteiden kulmat ovat yhtä suuret ja eri hilatasoihin osuvat säteet pysyvät jatkuvasti saman suuntaisina (kuva 4). Braggin lain avulla voidaan selvittää kiteen kiderakenne, kun säteilyn aallonpituus ja diffraktiomaksimien paikat on tunnettuja. (Ermrich & Oppen, 2013)

Kaava 2. Braggin laki.

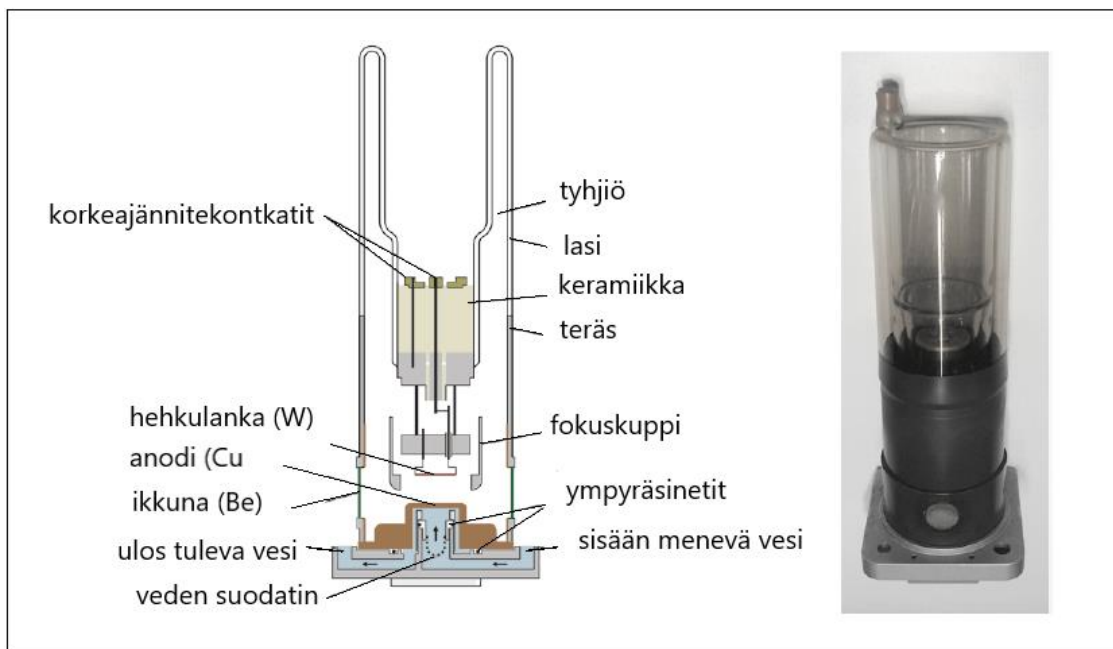
$$2d \sin\theta = n\lambda$$

d = kidehilan tasojen väli d_{hkl} (hkl : Millerin indeksi)
 θ = Braggin kulma $\rightarrow 2\theta$: tulevan ja heijastuvan säteen välinen kulma
 n = säteiden määrä kokonaislukuna
 λ = säteilyn aallon pituus



Kuva 6. Braggin laki säteiden heijastumisesta. Muokattu (Ermrich & Oppen, 2013 ja Zoltai & Stout, 1984) mukaan.

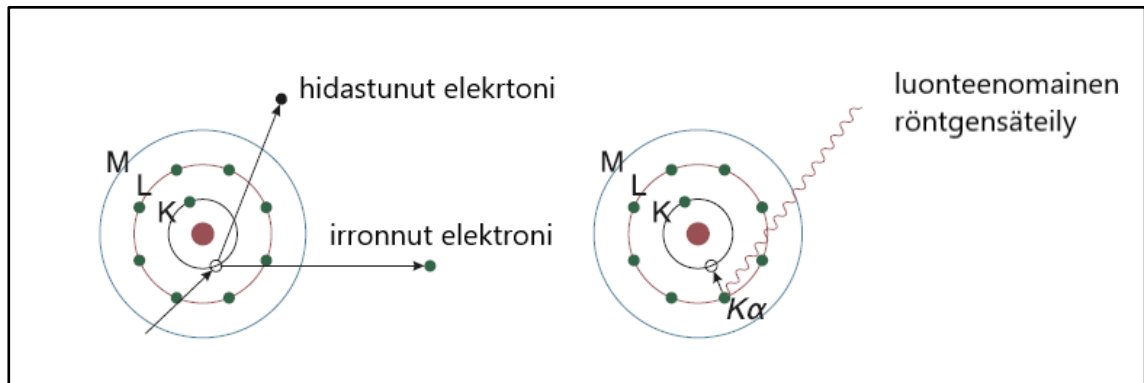
XRD-analyysissä röntgensäteet muodostetaan usein suljetun röntgenputken avulla (kuva 5). Röntgenputkessa elektronit voivat saavuttaa jopa 60 kV potentiaalieron ja niiden pommittaessa metallianodia tyhjiöputken sisällä muodostuu röntgensäteilyä sekä lämpöä. Putkessa muodostuvat röntgensäteet poistuvat kotelon berylliumikkunoiden kautta, jotka pitävät putken tiiviinä, mutta läpäisevät röntgensäteilyn. Syntyvän lämpöenergian seurauksena tulee röntgenputken anodia jäähdyttää tehokkaasti koko prosessin ajan. Suuremmat generaattorit käyttävät pyöriviä anodeja, jolloin syntyvä lämpökuorma voidaan jakaa tehokkaasti prosessin aikana. Putkessa käytettävän anodimateriaalin tulee olla ominaisuuksiltaan hyvä sähkön ja lämmön johdin, sekä omata riittävän korkea sulamispiste. Yleisimpiä materiaaleja anodeissa ovat esimerkiksi kupari, kromi, rauta ja koboltti. (Billinge & Dinnebier, 2008)



Kuva 7. Suljettu röntgenputki. (Muokattu Billinge & Dinnerbier, 2008 mukaan.)

Säteen kulkureitille voidaan sijoittaa erilaisia optisia elementtejä, joiden avulla röntgensäteilyä voidaan muokata tarpeen mukaan. Tällaisia optisia elementtejä voivat olla erilaiset suodattimet, peilit tai monokromaattiset aineet. Suodattimien avulla voidaan ohjata primäärisäteiden suuntaa ja tämän avulla vähentää syntyvää lämpökuormaa. Samalla voidaan ennaltaehkäistä myös röntgendetektorin kyllästyminen sekä vähentää syntyviä säteilyvauriota. Monokromaattisella aineella tarkoitetaan litteää yksittäistä suurta kidettä, joka on asetettu tiettyyn suuntaan θ_m . Tällöin voidaan heijastaa vain ne röntgendiffraktion aallonpituudet, jotka täyttävät Braggin lain ehdon $\lambda = 2d \sin\theta_m$. Tyypillisesti tällaisia käytettäviä kiteitä ovat esimerkiksi kvartsi-, timantti- ja grafiittikiteet. Kaarevia peilejä voidaan puolestaan käyttää kokoamaan tai ohjaamaan röntgensäteitä halutulla tavalla. (Billinge & Dinnebier, 2008)

Elektronien ja anodin vuorovaikutuksen seurauksena putkessa muodostuu valkoista säteilyä sekä luonteenomaista röntgensäteilyä. Valkoinen säteily koetaan usein haitalliseksi ja luonteenomaista röntgensäteilyä pyritään muodostamaan hyödyntämällä erilaisia suodattimia ja monokromaattisia aineita. Luonteenomainen röntgensäteily perustuu säteen kykyyn irrottaa elektroneja atomin elektronikuorilta. Kun elektroni irtoaa elektronikuorelta, syntyy jännitystila, jonka seurauksena irronnut elektroni korvautuu jollakin ulomman kuoren elektronilla. Tämän seurauksena syntyy säteilyenergiaa, joka muodostaa röntgensädefotonin (kuva 6). Fotonista syntynyt energia muodostaa spektriin atomin luonnetta kuvaavan viivan. Jokaisella atomilla on oma tyypillinen viiva ja muodostuva viiva kuvaa atomin ominaisuuksia. Elektronin irtoaminen atomista on mahdollista vain, kun röntgensäteilyn energia on elektronia sitova energia suurempi. (Ermrich & Oppen, 2013)



Kuva 8. Luonteenomaista röntgensäteilyä syntyy, kun K-kuorelta poistuva elektroni korvautuu ulomman L-kuoren elektronilla. Muodostuva energia vapautuu atomista röntgensäteilynä. (Muokattu Ermerich & Oppen, 2013 mukaan).

3.2 Jauhediffraktiomenetelmä

Jauhediffraktiomenetelmässä analysoidaan monikiteistä näytettä kuten mineraalijauhetta. Kiteistä näytettä pyöritetään sylinterissä lasineulan sisällä, jolloin näytteeseen lähetetyt röntgensäteet diffraktoituvat poiketen 2θ -kulman verran primääristä röntgensäteestä. Röntgensäteiden siroamisen seurauksena muodostuu diffraktiokuvio, josta nähdään 2θ -kulman arvo jokaiselle kidepinnan heijasteelle. Diffraktiokuvioista voidaan tunnistaa ja luokitella näytteessä esiintyviä mineraaleja. Parhaiten menetelmä toimii, kun kiteet ovat järjestyneet näytteeseen satunnaisessa järjestyksessä toisiinsa nähden. (Billinge & Dinnebier, 2008)

4 MINERALOGIA

Mineraalit ovat luonnossa esiintyviä homogeenisia aineita, joilla on määritelty kemiallinen koostumus. Mineraaleja muodostuu yleensä epäorgaanisten prosessien seurauksena. Luonnossa esiintyvien mineraalien lisäksi voidaan laboratoriossa muodostaa synteettisiä mineraaleja, jotka voivat muistuttaa luonnon mineraaleja koostumukseltaan ja ominaisuuksiltaan. Mineraalien homogeenisuus tarkoittaa sitä, että ne koostuvat tietyistä aineista eikä tätä ainetta voida jakaa kemiallisen koostumuksen perusteella yksinkertaisempiin yksiköihin. Mineraalit voidaan luokitella niiden kemiallisen koostumuksen avulla. Kuitenkin tietyillä mineraaleilla, koostumus voi vaihdella esimerkiksi mineraalin alkuaineiden suhdeluvun suhteen muodostaen silti saman mineraalin. (Klein et al., 1993)

4.1 Päämineraaliryhmät

Mineraalit on luokiteltu mineraaliryhmiin näiden koostumuksellisten ominaisuuksien perusteella. Kemialliseen koostumukseen perustuva mineraalien luokittelu mineraaliryhmiin on yleisin tapa luokitella mineraaleja. Saman kaltaisen kemiallisen koostumuksen takia saman mineraaliryhmän mineraalit muistuttavat toisiaan myös muilta ominaisuuksiltaan (Klein et al., 1993). Mineraalit voidaan luokitella kahdeksaan erilaiseen mineraalien pääryhmään sekä näiden ryhmien alaryhmiin (Dana & Gaines, 1997). Pääryhmän mineraalit muistuttavat toisiaan joiltakin koostumuksellisilta osilta, mutta mitä pienempää alaryhmää tarkastellaan sitä lähempänä mineraalit ovat toisiaan (Klein et al., 1993).

Natiivien elementtien ryhmä

Natiivit elementit ovat mineraaleja, jotka esiintyvät luonnossa pelkkinä alkuaineina. Natiivit elementit voidaan jakaa metaleihin, puolimetalleihin sekä epämetalleihin. Tähän mineraaliryhmään kuuluvia mineraaleja ovat esimerkiksi kulta, antimoni ja grafiitti (Klein et al., 1993).

Silikaattiryhmä

Silikaatit ovat laaja ryhmä mineraaleja, jotka ovat piin ja hapen muodostamia. Kaikista tunnetuista mineraaleista silikaattimineraalien osuus on noin 25 % ja yleisesti esiintyvistä mineraaleista jopa 40 % (Klein et al., 1993). Silikaattimineraalit kattavat jopa 90 % maan kuoren mineraaleista. Suurin osa silikaattimineraaleista on tetraedrisiä, muutamia oktaedrisiä mineraaleja lukuun ottamatta (Zoltai & Stout, 1984). Silikaattimineraalit voidaan jakaa moneen eri alaryhmään, jotka voidaan vielä uudelleen jakaa pienempiin ryhmiin. Silikaattimineraalien pääryhmät ovat nesosilikaatit, sorosilikaatit, rengassilikaatit, ketjusilikaatit, verkkosilikaatit sekä tektosilikaatit (Klein et al., 1993).

Nesosilikaatit sisältävät SiO_4 tetraedrejä, jotka ovat sidoksissa toisiinsa ionisidoksilla. Nesosilikaatteihin kuuluvat mineraalit ovat ominaisuuksiltaan tiheitä ja kovia mineraaleja. Nesosilikaatit voidaan jakaa edelleen kuuteen alaryhmään, jotka ovat fenasiittiryhmä, oliviiniryhmä, granaattiryhmä $\text{A}_3\text{B}_2(\text{SiO}_4)_3$, zirkoniryhmä, Al_2SiO_5 -ryhmä sekä humiittiryhmä (Klein et al., 1993).

Sorosilikaatit ovat mineraaleja, jotka sisältävät erillisiä kasoistetraedrejä, jotka jakavat yhden happiatomin. Sorosilikaatteihin kuuluu suoraan joukko mineraaleja sekä yhden alaryhmän, epidoottiryhmän mineraaleja (Klein et al., 1993).

Rengassilikaatit ovat mineraaleja, jotka koostuvat kolme, neljä tai kuusi piihappitetraedriä sisältävistä renkaista. Rengassilikaatteihin kuuluvat muun muassa berylli, kordieriitti sekä turmaliini (Klein et al., 1993).

Ketjusilikaattien tetraedrit ovat järjestäytyneinä ketjun muotoon. Ketjusilikaatit voidaan luokitella varsinaisiin ketjusilikaatteihin, joihin kuuluu pyrokseeniryhmän mineraalit sekä pyroksenoidiryhmän mineraalit. Lisäksi ketjusilikaatteihin voidaan luokitella nauhasilikaatit, joihin kuuluvat amfiboliryhmän mineraalit sekä natriumamfiboliryhmän mineraalit. Sekä pyrokseeniryhmän mineraalit, että amfiboliryhmän mineraalit ovat erityisen tärkeitä mineraaleja kivien muodostumisprosesseissa (Klein et al., 1993).

Verkkosilikaatit muodostuvat Si_2O_5 -tetraedrien muodostamista verkoista. Suurimmalla osalla verkkosilikaateista on OH-ryhmän jäsen keskellä kuusikulmaista verkkoa. Verkkorakenteen ansiosta verkkosilikaattimineraalit ovat kohtuullisen kovia mineraaleja, mutta ne lohkeavat helposti verkkorakenteen suuntaisesti. Verkkosilikaatit voidaan jakaa neljään alaryhmään, jotka ovat serpentiiniryhmä, savimineraaliryhmä, kiilleryhmä sekä kloriittiryhmä (Klein et al., 1993).

Maapallon kuoren kivistä noin 65 % koostuu tektosilikaattimineraaleista. Tektosilikaatit ovat mineraaleja, jotka koostuvat kolmiulotteisesta SiO_4 -tetraedrien muodostamasta verkosta. Tektosilikaateissa yksi happiatomi on tetraedrin kärjessä sitoutuneena kahteen piiatomiin. Tektosilikaatit voidaan jakaa viiteen alaryhmään, jotka ovat SiO_2 -ryhmä, maasälpäryhmä, foidiryhmä, skapoliittiryhmä sekä zeoliittiryhmä. Tektosilikaatit ovat usein ominaisuuksiltaan kovia ja kevyitä mineraaleja (Klein et al., 1993).

Karbonaattiryhmä

Karbonaatit ovat vahvasidoksisia mineraaleja, jotka voidaan jakaa rakenteellisten ominaisuuksien perusteella kolmeen alaryhmään; kalsiittiryhmään, aragoniittiryhmään ja dolomiittiryhmään. Näiden ryhmien lisäksi karbonaattimineraaleihin kuuluu mineraaleja,

joita ei voida ominaisuuksien perusteella luokitella mihinkään kolmesta edellä mainitusta alaryhmästä. Tällaisia mineraaleja ovat monokliiniset vesipitoiset kuparikarbonaatit malakiitti ja azuriitti (Klein et al., 1993).

Halidiryhmä

Halidit ovat mineraaleja, joissa esiintyy elektronegatiivinen halogeeni-ioni Cl^- , Br^- , F^- tai I^- . Heikosta sähköstaattisesta varauksesta johtuen halidimineraalien sidokset ovat puhtaita ionisidoksia. Halideille tyypillisiä ominaisuuksia on pehmeys sekä heikko sähkönjohtavuus. Halidimineraaleihin kuuluva haliitti oli ensimmäinen mineraali, jonka koostumus voitiin määrittää röntgendiffraktion avulla vuonna 1913 (Klein et al., 1993).

Oksidiryhmä

Oksidiryhmän mineraalit ovat usein kovia ja tiheitä mineraaleja, jotka esiintyvät yleisesti vulkaanisten ja metamorfisten kivien kanssa. Oksidiryhmän mineraalit muodostuvat nimensä mukaisesti hapestä sekä yhdestä tai useammasta metallista. Oksidiryhmän mineraalit voidaan jakaa useampaan eri alaryhmään näiden ominaisuuksien perusteella (Klein et al., 1993).

Fosfaattiryhmä

Fosfaattimineraalit muistuttavat atomirakenteeltaan silikaattimineraaleja. Fosfaateissa fosfori, arseeni tai vanadium ovat sidoksissa hapen kanssa muodostaen tetraedrin. Fosfaattiryhmään kuuluu monia mineraaleja, mutta suurin osa näistä on esiintymiseltään harvinaisia (Klein et al., 1993).

Sulfaattiryhmä

Sulfaatit ovat mineraaleja, joilla on rikkiatomi sidoksissa happiatomiin. Sulfaattiryhmään kuuluu suuri joukko mineraaleja, joista suurin osa esiintyy harvinaisena. Sulfaattiryhmän mineraalit voidaan jakaa kahteen alaryhmään: 1) anhydriset sulfaatit ja 2) hydriiset sulfaatit ja emäksiset sulfaatit (Klein et al., 1993).

Sulfidiryhmä

Sulfidit ovat mineraaliryhmä, johon kuuluu suurin osa malmimineraaleista. Sulfidit voidaan luokitella pienempiin alaryhmiin niiden rakenteellisten ominaisuuksien perusteella, mutta rajan veto eri ryhmien välille on haastavaa. Sulfidit eroavat sulfaateista siten, etteivät ne sisällä rikin lisäksi happea. Sulfidiryhmän mineraaleja ovat esimerkiksi kuparikiisu ja pyriitti (Klein et al., 1993).

4.2 Tutkimusalueen mineralogia

Rajapalon alueella esiintyy tyypillisesti kvartsiitteja, albiittiutuneita metasedimenttejä, kalkkisiilikaatti-albiittikiviä, kordieriitti-orthoamfibolikiviä sekä karbonaattirikkaita liuskeita. Lisäksi alueelle tyypillisiä sulfideja ovat rikkikiisu ja magneettikiisu (Ranta et al., 2018). Tutkimusalueen kivilajeille tyypillisiä mineraaleja sulfidien lisäksi ovat kvartsi, albiitti, turmaliini, kloriitti, biotiitti, muskoviitti, sarvivälke, plagioklaasi, kalsiitti sekä erilaiset amfibolimineraalit (Farajewicz & Cook, 2019).

Alueen kivilajeihin ja tunnettuun mineralogiaan perustuen alueen moreeninäytteistä voidaan olettaa löytyvän ainakin silikaattiryhmän, karbonaattiryhmän sekä sulfidiryhmän mineraaleja.

4.3 Mineraalien tunnistaminen röntgendiffraktion avulla

Mineraaleja voidaan tunnistaa niiden röntgensäteiden heijastusominaisuuksien avulla. Jokaisella mineraalilla on kidemuoto, jonka muodostaa kyseiselle mineraalille tyypillinen atomirakenne. Jokainen näistä kiteitä heijastaa eli diffraktoi röntgensäteilyä mineraalille ominaisella tavalla ja tunnistamalla sekä tutkimalla näitä heijasteita voidaan määrittää mineraali sen ominaisuuksien avulla. Röntgensäteiden heijastumista näytteestä määrittää Braggin laki ja näiden erilaisten heijastusominaisuuksien perusteella mineraali voidaan määrittää. Mineraalien kiteet, joilla on suuri symmetria, sisältävät identtiset atomitasot useisiin suuntiin, jolloin diffraktiohuippuja on vähemmän kuin kiteillä, joilla on matala symmetria. Matalan symmetrian omaavat kiteet myös diffraktoituvat useampaan suuntaan. Diffraktio muodostaa analyysilaitteelle näytteen kiteiden diffraktiokuviot, joita tulkitsemalla voidaan tunnistaa kaikki näytteessä olevat mineraalit. Erilaisista diffraktio-ominaisuuksista johtuen toiset mineraalit ovat kuitenkin haastavampia tunnistaa kuin toiset (Zoltai & Stout, 1984; Billinge & Dinnebier, 2008)

Tässä tutkielmassa mineraalit pyritään tunnistamaan pXRD-analysaattorilla, jossa laite ampuu röntgensäteitä yhdestä määrätystä suunnasta kohti mineraalijauhetta. Saman aikaisesti mineraalijauhe pyörii laitteessa, jotta analyysituloksessa on huomioitu heijastuminen kiteen useammalta pinnalta. Lisäksi osa näytteistä analysoidaan laboratoriomallin XRD-analysaattorilla. Tässä näyte pysyy paikallaan ja laite ampuu mineraalijauhetta useasta eri suunnasta ja täten analysoi kiteen usealta eri heijastuspinnalta.

5 NÄYTTEET

5.1 Näytteiden valinta

Tutkimusalueella on aikaisemmin toteutettu laajaa pohjamoreeninäytteenottoa koneellisena näytteenottona käyttäen iskuporakonetta. Näytteet on pyritty ottamaan mahdollisimman läheltä kallion pintaa (base of till eli BOT-näytteenotto), jotta näyte edustaisi alueen todellista pohjamoreenia. Näytteenoton avulla voidaan myös selvittää eri alueiden maaperän paksuus. Näytteenotto perustuu iskevään läpivirtausteraan, joka viedään maakerrosten läpi mahdollisimman syvälle, jolloin terällä saadaan kerättyä noin 200 g - 400 g painoinen näyte maaperästä. Läpivirtausterä mahdollistaa näytteen keräämisen aivan kallion pinnasta, alimmasta maaperäkerroksesta, joka usein edustaa alueen pohjamoreenia. Näytteessä on yleensä mukana myös kalliopinnasta saatua näytemateriaalia. Näytteenottoa voi kuitenkin häiritä moreenille tyypilliset isot kivet, jotka estävät terän pääsyn pohjamoreeniin asti, jolloin näyte kerätään virheellisesti ylemmistä maa-aineskerroksista.

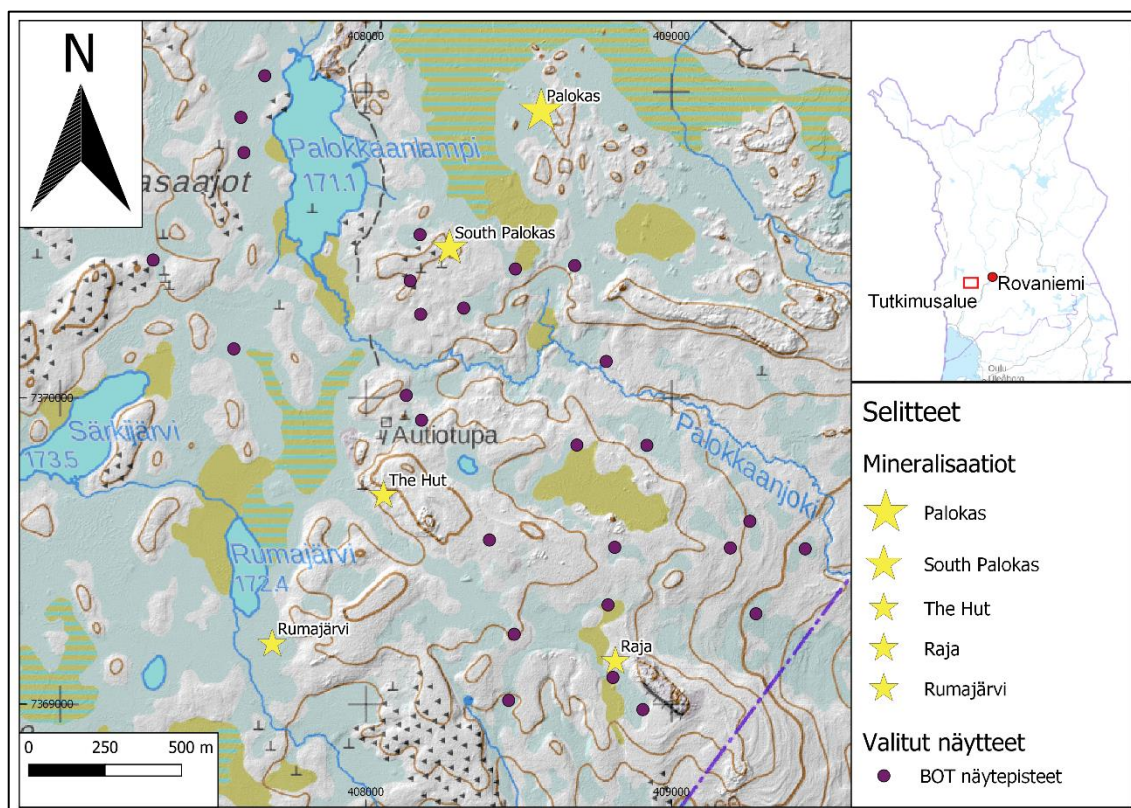
Alueelta kerätyt moreeninäytteet on tutkittu ja luokiteltu niiden ominaisuuksien perusteella ja samalla näytteistä on voitu arvioida edustavatko ne alueen todellista pohjamoreenia. Näytteitä on voitu luokitella niiden värin ja koostumuksen perusteella, sekä tutkia näytteissä esiintyvien kivenpalasten kivilajit sekä muoto. Kulmikkaammat kivet edustavat usein enemmän paikallista moreenia tai rapakalliota, kun taas muodostaan enemmän pyöristyneet kivet kertovat usein moreenin kulkeutuneen alueelle pidemmän matkan päästä. Tähän tutkimukseen valittujen näytteiden tiedot on esitetty taulukossa 2. Näytteiksi valittiin vain sellaisia näytteitä, joiden maalajiksi oli määritelty moreeni tai diamiktoni.

Taulukko 1. Valitut näytteet ja näiden ominaisuuksiedot.

Näyte- tunnus	Näytesyvyys (m)	Maalaji	Tiiveys	Kivien määrä (%)	Pyöristyneisyys
244398	3.25	Moreeni	Osittain konsolidoitunut	5	kulmikas - hieman pyöristynyt
244399	2.75	Diamiktoni	Irtonainen	5	hieman pyöristynyt- pyöristynyt
251217	8.10	Moreeni	Osittain konsolidoitunut	0	ei kiviä
244342	4.05	Diamiktoni	Irtonainen	10	kulmikas
244343	4.85	Diamiktoni	Irtonainen	25	kulmikas
244349	3.25	Moreeni	Osittain konsolidoitunut	5	kulmikas
244492	5.90	Diamiktoni	Irtonainen	5	kulmikas
244495	4.25	Diamiktoni	Irtonainen	5	kulmikas - pyöristynyt
244358	6.05	Moreeni	Irtonainen	5	kulmikas - hieman pyöristynyt
244582	5.50	Diamiktoni	Irtonainen	3	kulmikas - hieman pyöristynyt
244585	2.80	Diamiktoni	Irtonainen	10	hieman pyöristynyt
244363	2.10	Moreeni	Irtonainen	10	kulmikas - hieman pyöristynyt
244366	4.45	Moreeni	Irtonainen	5	kulmikas
243653	6.30	Diamiktoni	Irtonainen	5	kulmikas
243655	6.20	Diamiktoni	Irtonainen	10	hieman pyöristynyt
243656	7.05	Diamiktoni	Irtonainen	3	hieman pyöristynyt - pyöristynyt
244368	5.95	Diamiktoni	Irtonainen	0	kulmikas
244372	2.05	Moreeni	Irtonainen	15	kulmikas - hieman pyöristynyt
243738	5.75	Moreeni	Osittain konsolidoitunut	20	kulmikas

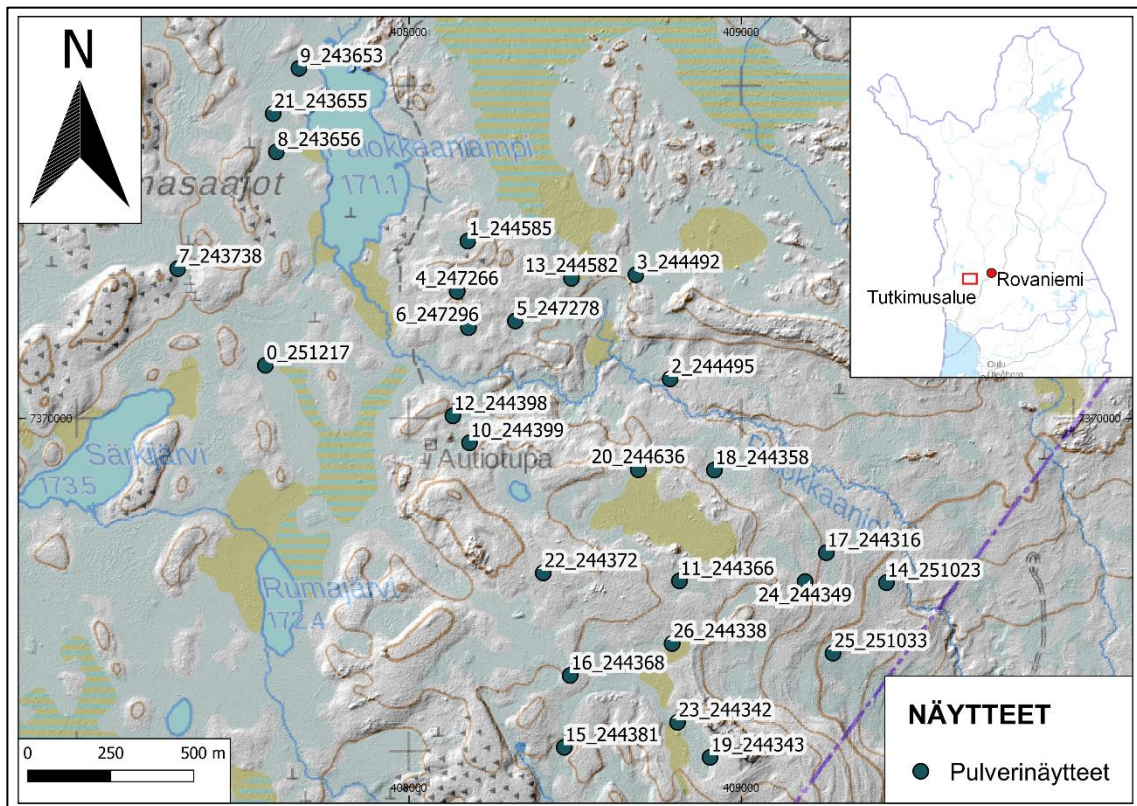
Näyte- tunnus	Näytesyvyys (m)	Maalaji	Tiiveys	Kivien määrä (%)	Pyöristyneisyys
244381	3.35	Moreeni	Irtonainen	15	kulmikas - hieman pyöristynyt
244338	3.70	Moreeni	Irtonainen	15	kulmikas - hieman pyöristynyt
247266	3.00	Diamiktoni	Irtonainen	15	hieman pyöristynyt
247278	4.30	Diamiktoni	Irtonainen	3	hieman pyöristynyt
247296	2.80	Diamiktoni	Irtonainen	3	hieman pyöristynyt
244316	4.65	Moreeni	Osittain konsolidoitunut	5	hieman pyöristynyt
251023	6.40	Moreeni	Osittain konsolidoitunut	2	kulmikas
251033	4.60	Moreeni	Osittain konsolidoitunut	3	kulmikas - hieman pyöristynyt

Tutkimusta varten valittiin yhteensä 27 näytepistettä. Näytepisteet pyrittiin valitsemaan siten, että ne edustavat alueen todellista pohjamoreenia ja sijoittuvat eri kohtiin tunnettua mineralisaatiota tai selkeästi erilleen tunnetuista mineralisaatiosta. Valitut näytepisteet on esitetty kuvassa 9.

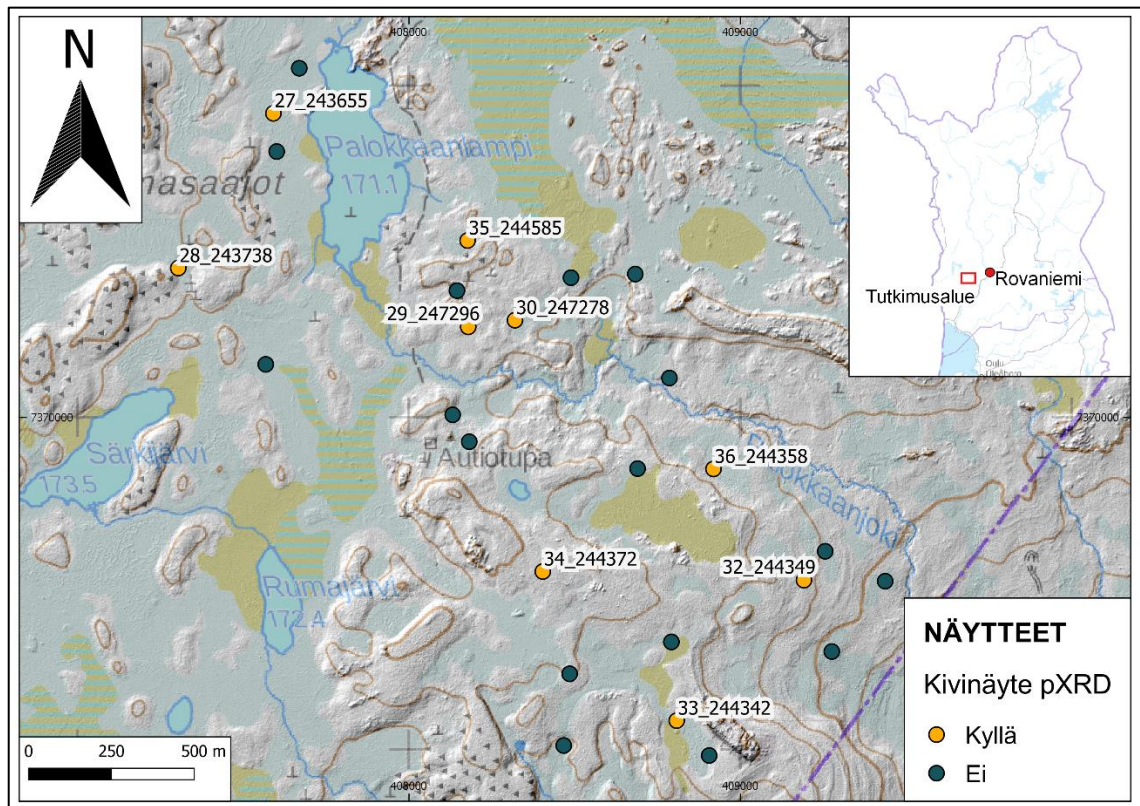


Kuva 9. Tutkimukseen valitut näytepisteet ja tutkimusalueen tunnetut mineralisaatiot kartalla. Näytteitä valittiin yhteensä 27 kappaletta. (Muokattu: Mawson 2021, *Mineral deposits and exploration @ GTK 2021, Avoimien aineistojen tiedostopalvelu* © Maanmittauslaitos 2021)

Tutkimuksessa analysoitiin pXRD-menetelmällä laboratoriosta saatu pulverinäyte jokaisesta näytepisteestä. Nämä näytteet ja näytetunnukset on esitetty kuvassa 10. Lisäksi näytepisteistä valittiin 9 kpl näytteitä, joille tehtiin pXRD-analyysi moreeninäytteessä olleista kivistä. Kivinäytteet pyrittiin valitsemaan siten, että näytteen kivet ovat keskenään homogeenisiä ja edustavat mahdollisesti alueen kallioperän todellisia kivilajeja. Nämä näytteet on esitetty kuvan 11 kartassa.



Kuva 10. Tutkimukseen valitut moreeninäytteiden pulverinäytteet ja niistä käytetyt analyysitunnukset esitettynä kartalla. Näytteitä analysoitiin 27 kappaletta. (Muokattu: Avoimien aineistojen tiedostopalvelu © Maanmittauslaitos 2021)



Kuva 11. Valitut moreeninäytteet, joista analysoitiin pXRD-analysointorilla pulverinäytteen lisäksi moreenin kiviapista (rockchip) hiottu näyte. Näitä näytteitä valittiin yhteensä 9 kappaletta. (Muokattu: Avoimien aineistojen tiedostopalvelu © Maanmittauslaitos 2021)

6 NÄYTTEIDEN ANALYSOINTI

6.1 Olympus Terra pXRD

Olympus Terra pXRD eli kannettava-XRD (pXRD) on ensimmäinen kaupalliseen käyttöön kehitelty akkukäyttöinen XRD-analysaattori. pXRD:n avulla voidaan mahdollistaa nopea mineraalianalyysi myös kenttäolosuhteissa ja tulokset analyysista saadaan välittömästi tutkimuskäyttöön. Kannettava XRD on kevyt kantaa pidempiäkin matkoja maastossa ja sen vedenkestävä salkku mahdollistaa laitteen ottamisen mukaan moniin erilaisiin tutkimusympäristöihin. (Olympus, 2021; Sarala & Koskinen, 2018)

Laboratorio-XRD-analyysia varten näyte jauhetaan tasaiseksi massaksi, josta puristetaan analyysinappi. Puristettu nappi varmistaa näytteen eri mineraalikiteiden satunnaisen suuntautumisen näytteeseen ja tuloksien luotettavuuden tätä kautta. Puristettua jauhenappia analysoidaan lähettämällä näytteeseen röntgensäteilyä eri kulmista. Kannettava-XRD poikkeaa perinteisestä XRD-analysaattorista näytteen valmistelun, näytemäärän sekä analyysitekniikan osalta. Kannettava-XRD tarvitsee vain 15 mg analysoitavaa näytemateriaalia ja näytteen fraktion ollessa tarpeeksi pieni voidaan näyte lisätä suoraan pXRD-analysaattorin näytekennoon. Kannettava-XRD lähettää analysoitavaan näytteeseen röntgensäteilyä vain yhdestä suunnasta, jonka seurauksena laite pyörittää näytettä jatkuvasti mittauksen aikana. Liikkuva näyte saadaan analysoitua useammasta kulmasta mineraalikiteiden pyöriessä näytteessä ja täten voidaan varmistaa kokonaisvaltainen analyysi näytteestä. XRD-analyysin lisäksi laitteessa on XRF-toiminto, jonka tuottamaa mittausdataa voidaan käyttää apuna mineraalien tunnistamisessa. (Olympus, 2021; Sarala & Koskinen, 2018)



Kuva 12. Olympuksen pXRD-analysaattori on rakennettu kannettavan salkun sisälle ja painaa noin 15 kg. Laite toimii sekä akkuvirralla että verkkovirralla ja on helppo liikutella kohtuullisia. matkoja.

6.2 Näytteiden esikäsittely ja mittaaminen pXRD-analysaattorilla

Näytteiden analysointi toteutettiin laboratoriosta saaduista moreenien pulverinäytteistä. Kaikkia näytteitä kuivatettiin uunissa noin 50 asteessa vuorokauden ajan (kuva 15). Kuivaamisella varmistettiin näytteen mineraalikiteiden pyöriminen analysaattorin kennossa. Kosteä näyte voisi paakkuuntua kennoon helposti ja antaa virheellisen analyysituloksen. Kuivauksen jälkeen näytteet seulottiin pXRD-analysaattorin mukana tulleella siivilällä, jotta analyysilaitteelle liian iso fraktio saatiin erotettua pulverista (kuva 16).

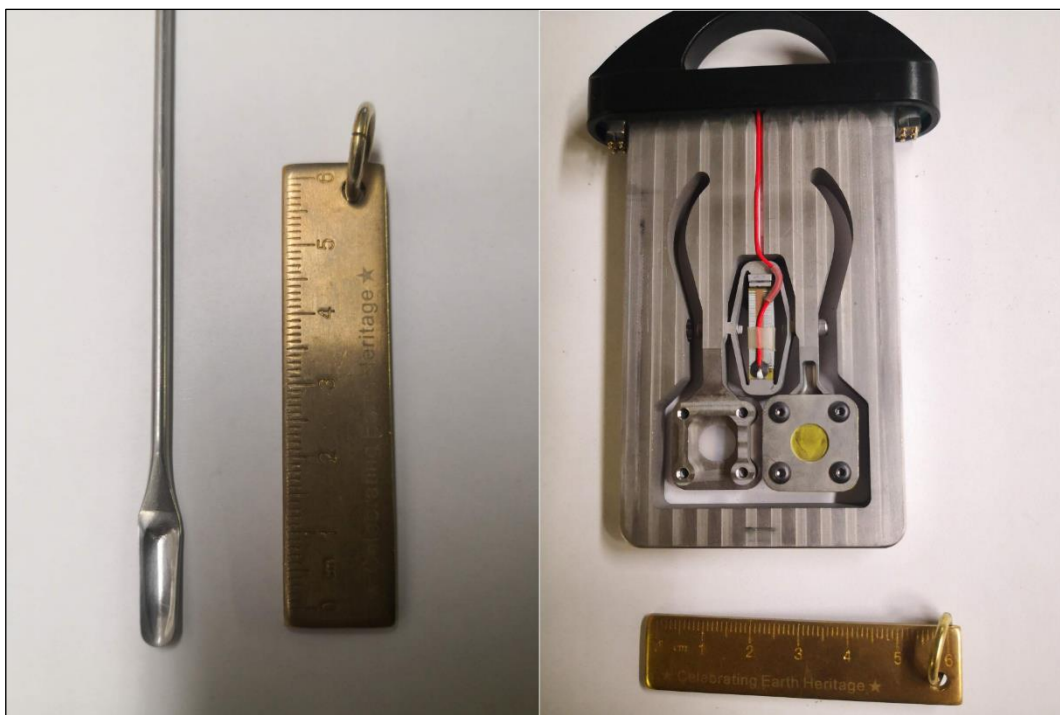


Kuva 13. Näytteitä kuivattiin uunissa noin 50 asteessa vuorokauden ajan ennen analysointia.



Kuva 14. Kuivatusta näytteestä eroteltiin analyysiin soveltuva fraktio karkeammasta seulomalla näytteet

Seulotut näytettä annosteltiin analyysilaitteeseen noin 10–20 mg laitteen mukana tulleen annostelulusikan avulla (kuva 17). Ennen analyysin aloittamista varmistettiin näytteen pyöriminen vaivattomasti kennossa sekä näytteen sopiva määrä käyttämällä laitteessa olevaa tärytintä. Tämän jälkeen näytettä sisältävä kenno asetettiin analyysilaitteeseen ja analyysi käynnistettiin tietokoneen kautta.



Kuva 15. Kuivattu ja siivilöity näyte mitattiin pXRD-analysaattorin keltaiseen näytekennoon pienen lusikan avulla. Mineraalijauhetta mitattiin noin $\frac{3}{4}$ näytekennon tilavuudesta, jotta mineraalien vapaa pyöriminen voitiin varmistaa kennossa.

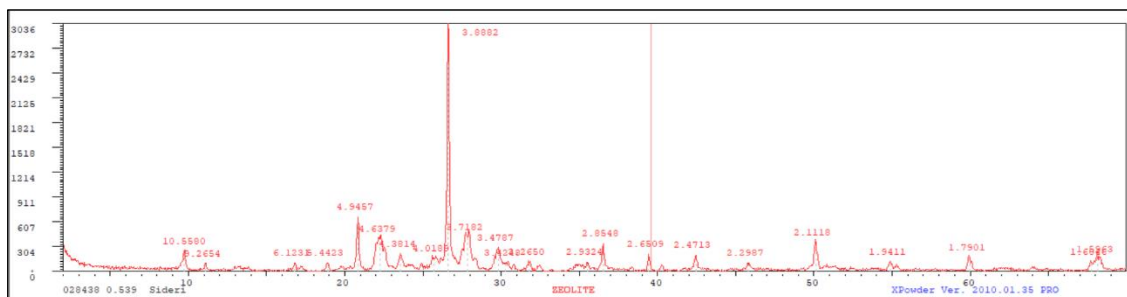
Kivinapeista tehtävässä analyysissä valituista kivistä hiottiin pienen poran avulla hienoa kivitjauhetta, jota kuivattiin noin 1–2 tuntia 50 asteisessa uunissa. Näytemäärä oli niin vähäinen, että lyhyt kuivausaika riitti näille näytteille. Kuivatut näytteet seulottiin ja analysoitiin samoin kuin pulverinäytteet.

Analyysin pituutta voitiin säädellä tietokoneen kautta muutamalla näytteelle tehtävien mittauskertojen määrää. Puhtaalle kvartsinäytteelle havaittiin riittävän noin 85 mittauskertaa, mutta varsinkin kiillemineraaleja sisältävät näytteet vaativat yli 150–250 mittauskertaa. Mittauksen etenemistä voitiin seurata tietokoneen kautta tulkitsemalla näytteen mineraalikäyrään ilmaantuvia piikkejä ja tarvittaessa mittauskertoja pystyttiin lisäämään kesken analyysin. Kun kaikki piikit alkoivat olla selkeästi terävähuippuisia, oli näytteelle suoritettu riittävä määrä mittauskertoja. Mikäli mineraalikäyrällä esiintyi piikkejä, joille ei voitu tunnistaa selkeää kärkeä lisättiin analyysissä käytettävien mittauskertojen määrää kyseiselle näytteelle.

Näytteen analysoinnin jälkeen näytettä koskevat tiedot tallennettiin ja mittalaitteisto puhdistettiin huolellisesti paineilman avulla, jotta jokainen mineraalijyvänen saatiin laitteistosta puhdistettua ennen seuraavan näytteen analysointia. Laitteen puhtaus voitiin varmistaa luupin sekä päivän aikana tehtävien standardimittausten avulla. Standardimittauksissa käytettiin puhdasta kvartsijauhetta. Analyysin vaadittavan näytemäärän ollessa pieni, voi jo yksittäinen laitteeseen jäänyt mineraalirae aiheuttaa kontaminaatiota seuraavan näytteen mittauksessa. Lisäksi mineraalikiteiden pyöriminen laitteen kennossa, kulutti kennon molemmin puolin olevaa kalvoa ja jokaisen analyysikerran jälkeen oli syytä tarkastaa kalvon kunto mahdollisten reikien varalta.

6.3 pXRD-analyysitulosten tulkinta

Kannettavalla XRD-analysaattorilla saatuja tuloksia analysoidaan laitteiston mukana tulleella XPowder-ohjelmalla. Ohjelman avulla analyysissa saadut mineraalipiikit voidaan tunnistaa käyrältä. XPowder-ohjelma käyttää pelkistä mineraaleista koostuvaa AMCS:n (American Mineralogist Crystal Structure Database) Difdata.txt-tietokantaa. Ohjelman heikkoutena on kuitenkin mineraalitietokannan laajuus, johon sisältyy myös joukko synteettisiä mineraaleja. Ohjelman automaattisella analyysillä voidaan saada mineraalipiikille lukuisia eri mineraalivaihtoehtoja, joista manuaalisesti valitaan parhaiten näytteeseen soveltuva mineraali. Kun kaikki mineraalikäyrän piikit on saatu luotettavasti tunnistettua, saadaan kyseisen näytteen mineraalikoostumus selvitettyä sekä karkea arvio mineraalien määräsuhteista näytteessä.



Kuva 16. Mineraalipiikkien analysointia XPowder-ohjelmalla. Ohjelma tunnistaa näytteen mineraalipiikit, jonka jälkeen näille etsitään mineraalitietokannasta vastineita. Näytteen piikkien tunnistaminen aloitetaan selkeimmistä mineraalipiikeistä.

Näytteiden mineraalipiikit voivat toisinaan jäädä epäselviksi, eikä selkeää kärkeä piikille voida tunnistaa. Piikillä voi olla monia vierekkäisiä kärkiä, jolloin oikean kärjen valitseminen on haastavaa. Tämä vaikeuttaa myös mineraalien tunnistamista ohjelmistolla, kun selkeää kärkeä ei voida määrittää. Tällaisissa tapauksissa voi ohjelmisto ehdottaa monia mineraaleja samalle piikille ja mineraalin tunnistaminen ei tämän takia ole aina luotettavaa. Toisinaan on myös hankala tulkita, onko muodostunut piikki todella mineraalipiikki vai vain osa näytteen niin sanottua taustakohinaa. Tämä voi johtaa mineraalien tunnistamiseen, joita näytteessä ei todellisuudessa ole.

6.4 Rigaku SmartLab 9 XRD

Tutkimusnäytteistä valittiin 9 kpl näytteitä vertailuanalyysiin, jotka tehtiin laitosmallisella laboratorio-XRD-analysaattorilla. Vertailun avulla pyrittiin varmistamaan analyysitulosten luotettavuus ja pXRD:llä tunnistettujen mineraalien tarkkuus. XRD-analyysit tehtiin Oulun yliopiston Materiaalianalyysikeskuksessa Rigaku SmartLab 9 XRD-analysaattorilla.

Rigaku SmartLab 9 on laboratorio-XRD-analysaattori, jolla voidaan analysoida jauheita, ohutkalvoja sekä erikokoisia kappaleita. Laitteessa on pyörivällä anodilla varustettu 9 kW röntgenlähde, Cu- ja Co-anodit, viisiakselinen θ - θ goniometri sekä normaalia diffraktiotasoa vastaan kääntyvä detektorivarsi, joka mahdollistaa diffraktiomittaukset myös kohtisuorasti pinnan tasoa vastaan. (Oulun yliopisto Materiaalianalyysikeskus, 2021)

Näytteet analysoitiin koboltilähteen lampulla, jossa käytettiin asetuksina 40kV ja 135mA ($K\alpha_1=1.78892$; $K\alpha_2=1.79278$ Angstroms. $K\alpha_1/K\alpha_2=0.5$). Käytössä ei ollut monokromatisaatiovalintaa, mutta näytteiden analysoinnissa käytettiin K β -filtriä, jonka avulla voitiin vähentää monokromatisaation puuttumisen vaikutusta analysoituihin jauheisiin. Jauhemittaukset tehtiin Bragg-Brentanon parafokusointigeometrialalla (300 mm

goniometri). Fluoresenssi himmennettiin käyttämällä sirottamisen estävää putkea diffraktometrin analysaattorin puolella. Ennen kutakin koetta (optiikan kokoonpanon muutosta) näytteenpidin ja muut optiset komponentit kohdistetaan automaattisten menetelmien avulla, jotka olivat käytettävissä SmartLab Guidance -ohjelmistopakettissa. Analyysi suoritetaan PDXL2-ohjelmistopakettilla, johon on integroitu pääsy PDF-4 2021 -tietokantaan. (Oulun yliopisto Materiaalianalyysikeskus, 2021)

7 TUNNISTETTUIJEN MINERAALIEN MINERALOGIA

Tutkituista näytteistä voitiin tunnistaa yhteensä 20 erilaista mineraalia eri menetelmien avulla. Mineraalit voidaan luokitella ryhmiin niiden mineralogisten ominaisuuksien perusteella ja tässä kappaleessa tarkastellaan näytteistä tunnistettujen mineraalien mineraaliryhmiä sekä ominaisuuksia. Tässä kappaleessa esitetyt mineraalit on luokiteltu päämineraaliryhmien alaryhmiin, jotta voidaan vertailla mahdollisimman samankaltaisten mineraalien ominaisuuksia keskenään ja hyödyntää tätä myöhemmin tulosten tarkastelussa.

Taulukko 2. Näytteistä tunnistetut mineraalit ja niiden luokittelu mineraaliryhmiin. Luokiteltu (Klein et al., 1993) mukaan.

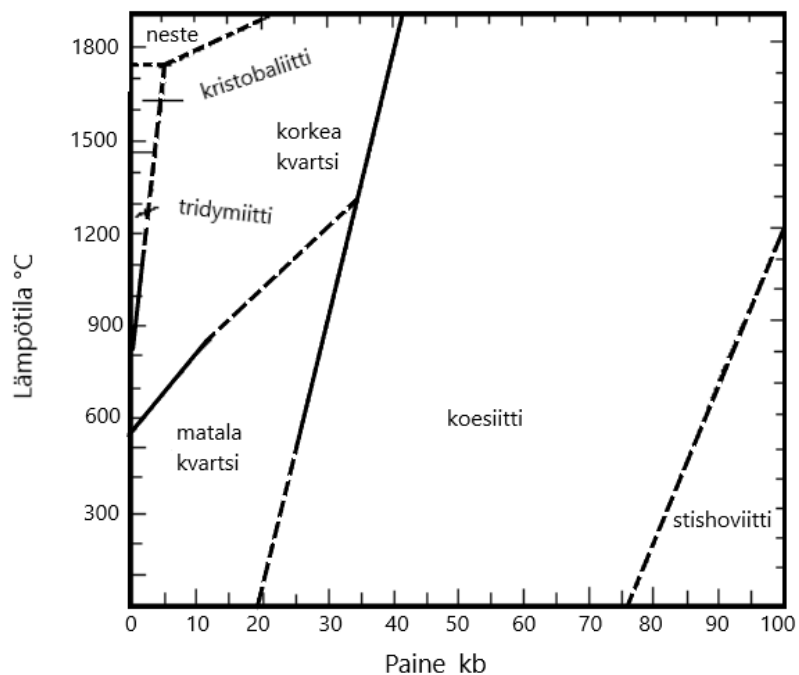
MINERAALI	KEMIALLINEN KAAVA	MINERAALI- RYHMÄ	PÄÄMINERAALI- RYHMÄ
Aktinoliitti (Actinolite)	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Amfiboliryhmä (Amphibole group)	Silikaatit (Silicates)

MINERAALI	KEMIALLINEN KAAVA	MINERAALI- RYHMÄ	PÄÄMINERAALI- RYHMÄ
Albiitti (<i>Albite</i>)	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	Maasälpäryhmä (Feldspar group)	Silikaatit (Silicates)
Anortiitti (<i>Anorthite</i>)	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	Maasälpäryhmä (Feldspar group)	Silikaatit (Silicates)
Biotiitti (<i>Biotite</i>)	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	Kiilleryhmä (Mica group)	Silikaatit (Silicates)
Flogopiitti (<i>Phlogopite</i>)	$\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	Kiilleryhmä (Mica group)	Silikaatit (Silicates)
Kalsiitti (<i>Calcite</i>)	CaCO_3	Kalsiittiryhmä (Calcite group)	Karbonaatit (Carbonates)
Klinokloori (<i>Clinochlore</i>)	$\text{Mg}_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_8$	Kloriittiryhmä (Chlorite group)	Silikaatit (Silicates)
Kuparikiisu (<i>Chalcopyrite</i>)	CuFeS_2	Sulfidit (Sulfides)	Sulfidit (Sulfides)
Kvartsi (<i>Quartz</i>)	SiO_2	SiO_2 ryhmä (SiO_2 group)	Silikaatit (Silicates)
Langbeiniitti (<i>Langbeinite</i>)	$\text{K}_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$	Sulfaatit (Sulfates)	Sulfaatit (Sulfates)
Magnetiitti (<i>Magnetite</i>)	Fe_3O_4	Spinelli ryhmä (Spinel group)	Oksidit (Oxides)
Mikroliini (<i>Microline</i>)	KAlSi_3O_8	Maasälpäryhmä (Feldspar group)	Silikaatit (Silicates)

MINERAALI	KEMIALLINEN KAAVA	MINERAALI- RYHMÄ	PÄÄMINERAALI- RYHMÄ
Muskoviitti (<i>Muscovite</i>)	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	Kiilleryhmä (Mica group)	Silikaatit (Silicates)
Oligoklaasi (<i>Oligoclase</i>)	$(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$ tai $\text{Ab}_{90}\text{An}_{10}-\text{Ab}_{70}\text{An}_{30}$	Maasälpäryhmä (Feldspar group)	Silikaatit (Silicates)
Pargasiitti (<i>Pargasite</i>)	$\text{NaCa}_2\text{Fe}_4(\text{Al,Fe})\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Amfiboliryhmä (Amphibole group)	Silikaatit (Silicates)
Ferro- tschermankiitti (<i>Ferro- tschermakite</i>)	$(\text{Ca}_2)(\text{Mg}_3\text{Fe}^{3+}_2)(\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{22})$ (OH) ₂	Amfiboliryhmä (Amphibole group)	Silikaatit (Silicates)
Richteriitti (<i>Richterite</i>)	$\text{Na}(\text{CaNa})\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Amfiboliryhmä (Amphibole group)	Silikaatit (Silicates)
Sarvivälke (<i>Hornblende</i>)	$(\text{Ca,Na})_{2-3}(\text{Mg,Fe,Al})_5\text{Si}_6(\text{Si,Al})_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Amfiboliryhmä (Amphibole group)	Silikaatit (Silicates)
Siderofylliitti (<i>Siderophyllite</i>)	$\text{KFe}^{2+}_2\text{Al}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	Kiilleryhmä (Mica group)	Silikaatit (Silicates)
Natriumaluna (<i>Sodium alunium</i>)	$\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	Sulfaatit (Sulfates)	Sulfaatit (Sulfates)
Tremoliitti (<i>Tremolite</i>)	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Amfiboliryhmä (Amphibole group)	Silikaatit (Silicates)

7.1 SiO₂-ryhmä

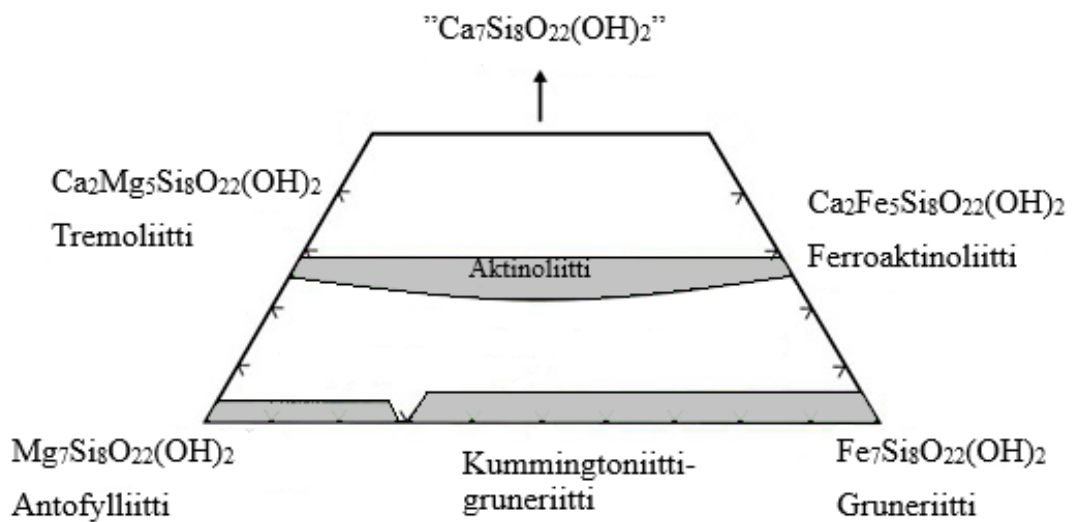
SiO₂-ryhmään kuuluu joukko mineraaleja, jotka koostuvat SiO₂:sta sekä vedestä, mutta jotka ovat rakentuneet eri tavoin. Ryhmän mineraalit kuuluvat tektosilikaatteihin, jotka kattavat myös maasälpä-, foidi-, skapoliitti- ja zeoliittiryhmien mineraalit. Tutkituista moreeninäytteistä pystyttiin tunnistamaan pXRD-analyysillä kvartsia, joka on yksi yleisimmistä mineraaleista. Kvartsia esiintyy usein vulkaanisissa ja metamorfisissa kivissä, monissa hydrotermisissä ja metallipitoisissa juonissa sekä omina puhtaina kvartsijuonina (Klein et al., 1993).



Kuva 17. SiO₂-ryhmän jäsenten suhteet paineeseen ja lämpötilaan. Muokattu (Klein ym. 1993) mukaan.

7.2 Amfiboliryhmä

Amfiboliryhmän mineraalit ovat joukko nauhasilikaattimineraaleja, joiden piitetraedrit ovat ryhmittyneet nauhamaisiksi ketjuiksi (Klein et al., 1993). Tutkituista moreeninäytteistä pystyttiin tunnistamaan eniten erilaisia mineraaleja amfiboliryhmästä. Näytteistä tunnistettuja mineraaleja olivat aktinoliitti, sarvivälke, tremoliitti, pargasiitti ja richteriitti. Monet näistä mineraaleista muistuttavat toisiaan koostumuksellisesti sekä kiderakenteelta, joten niiden erottaminen toisistaan XPowder-ohjelmalla oli toisinaan haastavaa. Kaikista näytteistä ei pystytty tunnistamaan mikä amfibolimineraali oli kyseessä.



Kuva 18. Amfibolien koostumus $\text{Mg}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ - $\text{Fe}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ - $\text{Ca}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ -systeemissä. Muokattu (Klein et al., 1993) mukaan.

Aktinoliitti ja tremoliitti

Tremoliitti ja aktinoliitti kuuluvat molemmat tremoliittisarjaan ja ovat kemialliselta koostumukseltaan hyvin samankaltaiset. Aktinoliitti sisältää kalsiumia ja rautaa, kun taas tremoliitti sisältää kalsiumia ja magnesiumia (Klein et al., 1993). Aktinoliitti on tyypillinen mineraali vihreäkiviliuskefasieksen metamorfoosissa ja se esiintyy yleisesti runsaasti kalsiumia tai magnesiumia sisältävissä metamorfisissa kivissä sekä syväkivissä. Tremoliittia puolestaan esiintyy yleisimmin puolestaan kontaktimetamorfisissa dolomiittikivissä sekä magnesiumpitoisissa karbonaattikivissä (Hytönen, 1999).

XPowder-ohjelmalla näiden kahden mineraalin erottaminen toisistaan oli lähes mahdotonta niiden samankaltaisuuden takia. Monissa näytteissä on merkitty esiintyvän molempia mineraaleja, koska näitä ei ole voitu erottaa luotettavasti.

Sarvivälke, pargasiitti ja ferro-tscherlakiitti

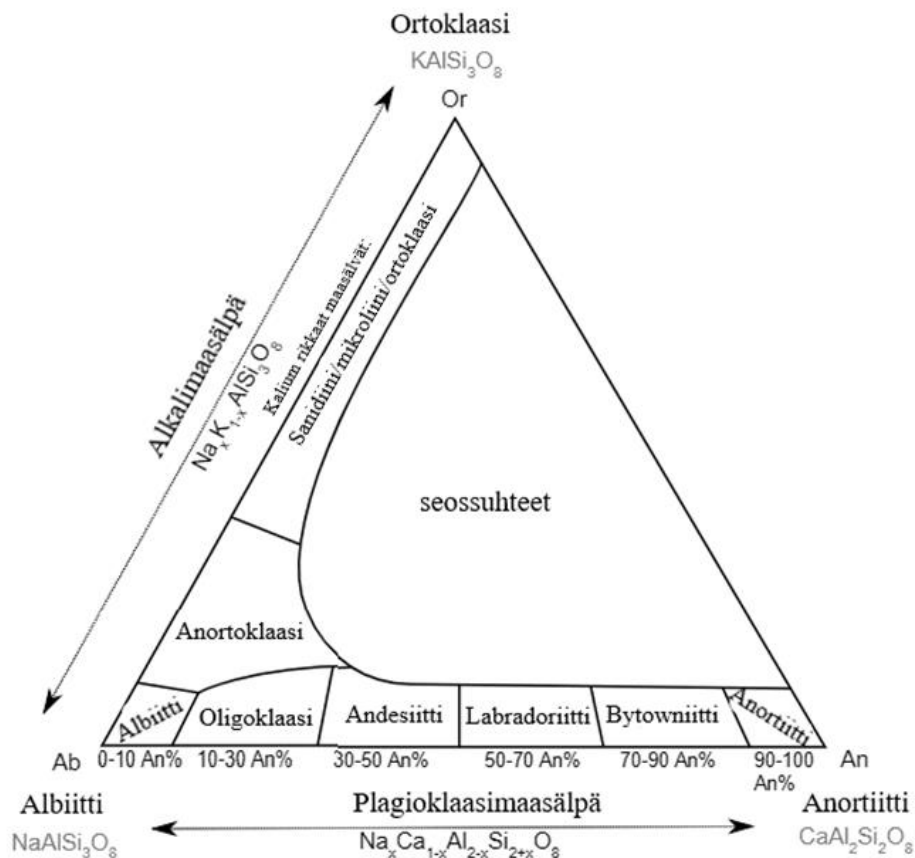
Sarvivälke on hyvin yleinen amfiboliryhmän mineraali, jota esiintyy monissa magmaattisissa ja metamorfisissa kivilajeissa. Sarvivälke muistuttaa kemialliselta koostumukseltaan tremoliittia, mutta eroaa tästä selkeämmin kuin aktinoliitti. Sarvivälkkeen voidaan katsoa kattavan sarjan useita erilaisia mineraalimuunnoksia, joita ovat esimerkiksi hastingsiitti (hastingsite) sekä tutkituissa näytteissä esiintyneet ferro-tscherlakiitti (tscherlakite) ja pargasiitti. (Klein et al., 1993).

Richteriitti

Richteriitti on amfiboliryhmään kuuluva mineraali, jota esiintyy kontaktimetamorfoosin kalkkikivissä, kuten alkalisissa magmakivissä ja karbonaateissa. Esiintyy monesti kalsiitin, flogopiittin ja plagioklaasin kanssa. (Klein et al., 1993)

7.3 Maasälpäryhmä

Maasälpäryhmän mineraalit ovat joukko yleisiä tektosilikaatteja, joita esiintyy yleisesti monissa kivilajeissa. Maasälpäryhmän mineraalit voidaan jakaa seossarjojen ja niiden päätejäsenten mukaan alkalimaasälpiin sekä plagioklaasimaasälpiin. Maasälpäryhmän seossarjojen päätemineraaleja ovat albiitti, joka on natriumrikas plagioklaasi, anortiitti joka on kalsiumrikas plagioklaasi sekä ortoklaasi joka on kaliumrikas plagioklaasi (kalimaasälpä). Alkalimaasälvät ovat albiitin ja ortoklaasin muodostaman seossarjan mineraaleja ja plagioklaasimaasälvät ovat albiitin ja anortiitin välisen seossarjan muodostamia mineraaleja. Luonnossa esiintyvistä mineraaleista ei ole puolestaan tunnistettu ortoklaasin ja anortiitin välistä seossarjaa. (Klein et al., 1993)



Kuva 19. Maasälpäryhmän päätejäsenten muodostamat seossarjat. Muokattu (Deer et al., 1963) mukaan.

Kuvassa 9 on kuvattu albiitin, anortiitin ja oligoklaasin seossuhteet. Albiitti ja oligoklaasi muistuttavat koostumukseltaan toisiaan ja näiden kahden mineraalin välinen ero on anortiitin määrässä seoksessa. Anortiitti puolestaan eroaa selkeästi koostumukseltaan albiitista ja oligoklaasista. Kaikki kolme mineraalia kuuluvat plagioklaasimaasälpjen sarjaan. (Klein et al., 1993)

Albiitti

Albiitti on maasälpäryhmän liuosseossarjan päätejäsen ja se koostuu pääsääntöisesti pelkästä albiitista. Albiitti sisältää noin 0-10 % anortiittia ja on plagioklaasimaasälpäluokassa ensimmäinen mineraali seossuhdesarjassa. (Klein et al., 1993) Albiitti on hyvin natriumrikas mineraali ja sitä esiintyy usein alkalikivissä sekä alhaisen metamorfoosin kivissä. (Zoltai & Stout, 1984)

Oligoklaasi

Oligoklaasi on mineraali, joka koostuu albiitin ja anortiitin seoksesta. Oligoklaasi on albiitista seuraava mineraali maasälpäryhmän seossarjassa ja sen koostumuksesta noin 10 - 30 % on anortiittia. (Deer et al., 1963)

Anortiitti

Anortiitti on plagioklaasimaasälpäsarjaan kuuluva mineraali, jonka koostumuksesta 90 - 100 % on anortiittia ja loput albiittia. Anortiitti on plagioklaasimaasälpäsarjan vastakkainen jäsen albiitille ja näiden kahden mineraalin seokset muodostavat loput

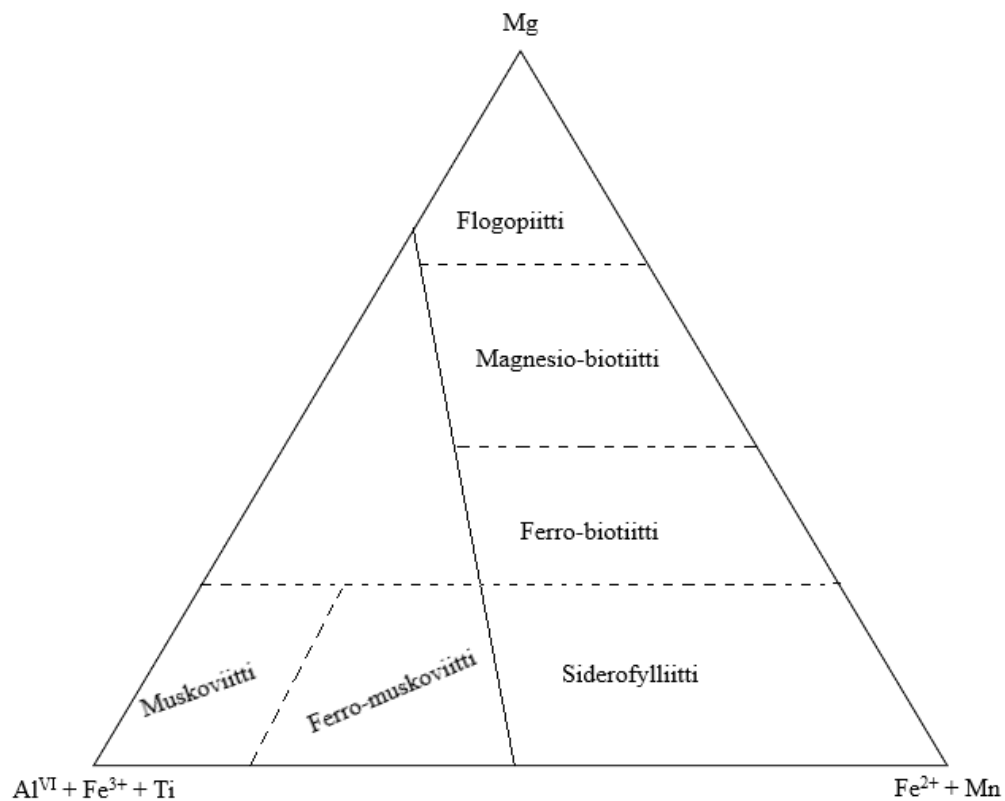
sarjaan kuuluvista mineraaleista. Anortiitti on harvinaisempi mineraali, kuin muut enemmän natriumia sisältävät mineraalit. (Klein et al., 1993)

Mikrokliini

Mikrokliini on maasälpäryhmän mineraali, joka sisältää runsaan määrän kaliumia. Mikrokliini kuuluu alkalimaasälpäsarjaan ja eroaa siten muista tässä kappaleessa esitetyistä maasälpäryhmän mineraaleista. (Klein et al., 1993). Mikrokliini sijaitsee seossuhteita kuvaavassa diagrammissa (kuva 8) aivan ortoklaasin vieressä ja näitä mineraaleja on mahdoton erottaa toisistaan ilman mikroskooppisia tai röntgenografisia tutkimuksia. Tästä johtuen mineraaleilla käytetään yleisesti yhteistä nimitystä kalimaasälpä. Kalimaasälpä on yleinen mineraali graniiteissa ja pegmatiiteissa ja sitä esiintyy yleisesti magmakivissä (Hytönen, 1999).

7.4 Kiilleryhmä

Kiilleryhmän mineraalit ovat silikaattimineraaleja, jotka tarkemmassa luokittelussa kuuluvat verkkosilikaatteihin. Kiillemineraalit esiintyvät usein kuusikulmaisina kiteinä ja ne ovat ominaisuuksiltaan helposti lohkeavia ja pehmeitä mineraaleja. Hienojakoiset kiillemineraalit on helpointa erottaa ja tunnistaa toisistaan röntgendiffraaktiotekniikan avulla. (Klein et al., 1993)



Kuva 20. Seossarja biotiitin luokitteluun. Muokattu (Foster, 1960) mukaan.

Muskoviitti

Muskoviitti on väriltään vaalea mineraali ja se kuuluu kiilleryhmän mineraaleihin. Muskoviitti on yleinen päämineraali, jota esiintyy graniiteissa ja graniittipegmatiiteissa. Pegmatiiteissa muskoviitti esiintyy usein kvartsin ja maasälvän kanssa ja se voi esiintyä suurinakin kiteinä. Muskoviittia esiintyy yleisesti myös metamorfisissa kivissä, kuten kiilleliuskeessa. (Klein et al., 1993)

Biotiitti ja siderofylliitti

Biotiitti on yleisesti esiintyvä, tummahko kiillemineraali, joka muistuttaa kemialliselta koostumukseltaan flogopiittia, mutta eroaa tästä korvaamalla magnesiumia huomattavalla määrällä rautaa. Biotiittia muodostuu hyvin erilaisissa geologisissa ympäristöissä ja sitä esiintyy yleisesti monissa vulkaanisissa kivissä, kuten graniittipegmatiitissa, graniitissa, dioriitissa, gabrossa sekä peridotiitissa sekä erilaisissa felsisissä laavoissa ja porfyyreissä. Biotiittia esiintyy myös kontaktimetamorfoosin kivissä sekä metamorfisissa kivissä, jotka ovat muodostuneet vaihtelevissa lämpötila- ja paineolosuhteissa (Klein et al., 1993). Siderofylliitti on biotiitin runsaasti rautaa sisältävä päätejäsen (Hytönen, 1999).

Flogopiitti

Flogopiitti on kellertävä tai ruskea, magnesiumrikas kiillemineraali. Ulkonäöltään ja ominaisuuksiltaan flogopiitti muistuttaa läheisesti biotiittia ja näiden kahden mineraalin erottaminen toisistaan voi olla toisinaan hankalaa (Klein et al., 1993). Flogopiittia voi esiintyä muun muassa ultramafisissa kivissä, graniittipegmatiiteissa ja magnesiumrikkaissa kalkkikivissä ja dolomiitissa (Zoltai & Stout, 1984). Flogopiitti muodostaa yhdessä biotiitin kanssa seossarjan (Hytönen, 1999).

7.5 Kalsiittiryhmä

Kalsiittiryhmän on karbonaattiryhmän mineraalien alaryhmä, johon kuuluu joukko anhydriisiä mineraalit. Karbonaattiryhmän mineraalit voidaan luokitella eri alaryhmiin mineraalien rakenteellisten ominaisuuksien perusteella. Kalsiittiryhmän mineraalien

kalsiittirakenne on yksi ensimmäisistä mineraalirakenteista, joita on pystytty tunnistamaan röntgensäteiden avulla. (Klein et al., 1993)

Kalsiitti

Kalsiittia esiintyy usein rakojen ja onteloiden täytemineraalina sedimenttisissä ja metamorfisissa kalkkikivissä. Kalsiitti on yksi yleisimmistä kivilajimineraaleista ja sitä esiintyy monissa sedimenttikivissä kuten kalkkikivessä ja hiekkakivessä. Kalsiittia tavataan myös primäärinä mineraalina vulkaanisissa kivissä kuten karbonaateissa ja sitä esiintyy myös yleisesti hydrotermisissä juonissa, jotka liittyvät sulfidimalmeihin. Kalsiitti esiintyy usein miten puhtaana kalsiittina (CaCO_3). (Klein et al., 1993)

7.6 Kloriittiryhmä

Verkkosilikaattien pääryhmään kuuluva kloriittiryhmä kattaa joukko toisiaan muistuttavia mineraaleja, joiden erottaminen ilman tarkkaa optista tai röntgensäteilyyn perustuvaa tutkimusta on lähes mahdotonta. Nimensä mukaisesti kloriittiryhmään kuuluu kloridi, sekä muita samankaltaisia mineraaleja. Kloridin yleiskaavana voidaan pitää $\text{A}_5\text{Z}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$, jossa $\text{A} = \text{Al}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Li}, \text{Mg}, \text{Mn}, \text{Ni}$ tai Z ja $\text{Z} = \text{Al}, \text{Si}$ tai Fe^{3+} . Kloriittiryhmän mineraalit muodostuvat vaihtamalla yleiskaavan muuttujien jäseniä. (Klein et al., 1993)

Klinokloori

Klinokloori on kloriittiryhmän mineraali, joka muodostaa seossarjan yhdessä chamosiitin kanssa. Klinokloori on yksi yleisimpiä kloridimineraaleista ja lähes kaikki Suomessa luonnossa esiintyvät kloridimineraalit ovat joko klinoklooria tai chamosiittia. Klinokloridia esiintyy metamorfissa kivissä sekä liuskeissa. Klinoklooria tavataan myös biotiitin, amfibolien ja pyrokseenien hydrotermisen muuttumisen tuotteena magmaattisissa kivissä. (Hytönen, 1999)

7.7 Spinelliryhmä

Spinelli-termiä käytetään usein viittaamaan ryhmään mineraaleja, joiden kemiallinen kaava voidaan esittää yleisessä muodossa. Spinelliryhmän mineraalien kemiallisten kaavojen yleismuoto on XY_2O_4 . Ryhmän mineraalit voidaan jakaa kahteen joukkoon niiden spinellirakenteen perusteella: 1) normaalin rakenteen omaavat sekä 2) käänteisen rakenteen omaavat. (Klein et al., 1993)

Magnetiitti

Magnetiitti on yleinen, lähinnä rauta(III)oksidista koostuva mineraali, jota esiintyy magmaattisissa ja metamorfisissa kivissä. Magnetiitti on nimensä mukaisesti myös vahvasti magneettinen ja se on tärkeä rautamalmin lähde (Klein et al., 1993). Magnetiitti esiintyy yleensä sulfidijuonissa sekä metamorfisten kivien, magmakivien ja pegmatiittien mineraalina (Hytönen, 1999).

7.8 Sulfidit

Sulfidit kuuluvat omaan mineraalien pääryhmäänsä ja ne ovat rikin yhdisteitä, jotka esiintyvät kemiallisessa muodossa S^{2-} tai sisältävät yhden tai useamman S^{2-} muodossa olevan ionin. Monet tärkeistä metallimalmeista ovat sulfideja. (Vaughan & Craig, 1978)

Rikkikiisu

Rikkikiisu tunnetaan myös nimellä pyriitti (*Engl. pyrite*) ja se on raudan sulfidimineraali. Rikkikiisu on hyvin yleinen sulfidimineraali ja se esiintyy usein yhdessä kuparikiisun, lyijyhohteen ja sinkkivälkkeen kanssa. Rikkikiisu on yleinen mineraali kulta- ja kuparimalmiesiintymissä (Klein et al., 1993).

Kuparikiisu

Kuparikiisu on yleinen sulfidimineraali ja tärkein kuparimalmin lähde. Kuparikiisua esiintyy yleisesti erilaisissa metallimalmiesiintymissä, kontaktimetamorfoosin kivissä, pegmatiittijuonissa sekä pirootteena liuskeisissa kivissä. (Klein et al., 1993)

7.9 Sulfaatit

Tutkituista näytteistä pystyttiin tunnistamaan pieniä määriä sulfaattimineraaleja laitosmallin XRD-analysaattorilla. Tunnistetut mineraalit olivat Langbeiniitti, joka kuuluu anhydriisiin sulfaatteihin sekä natriumalumiinisulfaatti (*Engl. Sodium aluminium sulfate*; $NaAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$), joka luokitellaan hydriisiin sulfaatteihin.

8 TULOKSET

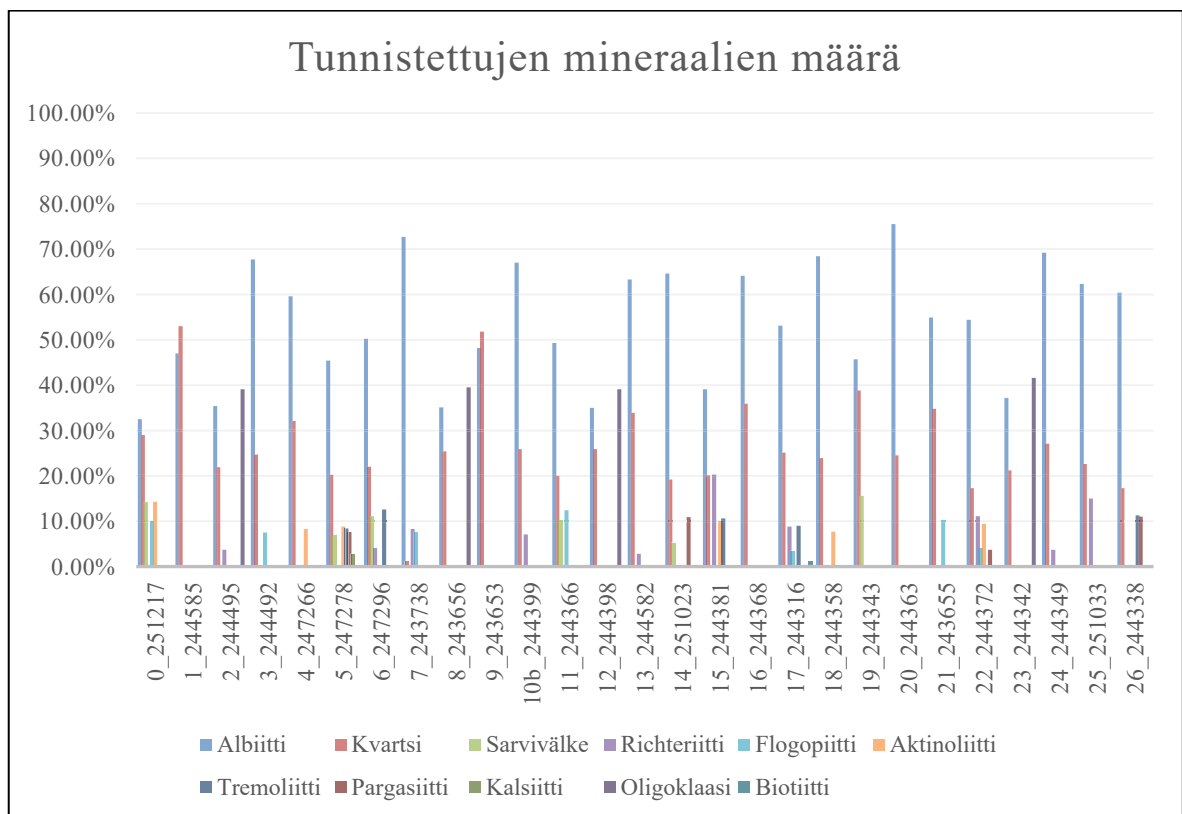
8.1 Pulverinäytteistä pXRD-analysaattorilla tunnistetut mineraalit

Tutkimusta varten analysoitiin 27 kappaletta moreeninäytettä. Analysoidut näytteet olivat laboratoriosta geokemiallisesta analyysistä takaisin saatuja pulverinäytteitä. Näytteistä tunnistetut mineraalit on esitetty kootusti taulukossa 3.

Taulukko 3 Pulverinäytteistä pXRD-analysoitavilla tunnistetut mineraalit (%). Taulukko on koostettu pXRD-analyysituloksista, jotka on esitetty liitteessä 1.

NÄYTE-TUNNUS	MINERAALIT (%)									
	Aktinoliitti (Actinolite)	Albiitti (Albite)	Kalsiitti (Calcite)	Sarvivälke (Hornblende)	Oligoklaasi (Oligoclase)	Pargasiiitti (Pargasite)	Flogopiitti (Phlogopite)	Kvartsi (Quartz)	Richteriiitti (Richterite)	Tremoliitti (Tremolite)
0_251217	14.3	32.5		14.2			10.0	29.0		
1_244585		47.0						53.0		
2_244495		35.4			39.1			21.9	3.7	
3_244492		67.7					7.5	24.7		
4_247266	8.3	59.6						32.1		
5_247278	8.8	45.4	2.8	6.9		7.6		20.2		8.4
6_247296		50.2		11.1				22.0	4.1	12.6
7_243738		72.7					7.7	11.2	8.3	
8_243656		35.1			39.5			25.4		
9_243653		48.2						51.8		
10_244399		67.0						25.9	7.1	
11_244366	21.7	53.7		11.1				21.7		
12_244398		35.0			39.1			25.9		
13_244582		63.3						33.9	2.8	
14_251023		64.6		5.3		10.9		19.2		
15_244381	9.9	39.1						20.1	20.3	10.6
16_244368		64.1						35.9		
17_244316		53.1					3.5	25.1	8.0	9.0
18_244358	7.7	68.4						23.9		
19_244343		45.7		15.6				38.8		
20_244363		75.5						24.5		
21_243655		54.9					10.3	34.8		
22_244372	9.4	54.4				3.7	4.1	17.3	11.1	
23_244342		37.2			41.6			21.2		
24_244349		69.2						27.1	3.7	
25_251033		62.3						22.6	15.0	
26_244338		60.4				11.0		17.3		11.3
Prosentuaalinen osuus yhteensä	3.0 %	54.0 %	0.1 %	2.4 %	5.9 %	1.2 %	1.6 %	26.8 %	3.1 %	1.9 %

Kaikista tutkituista näytteistä voitiin tunnistaa kvartsia sekä albiittia ja harvinaisin pulverinäytteistä tunnistettu mineraali oli kalsiitti, jota esiintyi vain yhdessä tutkituista näytteistä. Kun verrataan kaikkien näytteiden mineraalien prosentuaalisia suhteita toisiinsa, saadaan kokonaiskäsitys näytteiden yleisestä mineralogiasta (kuva 21). Kaikista tunnistetuista mineraaleista albiittia oli 54 % ja kvartsia 26,8 %. Näiden lisäksi tunnistettujen mineraalin prosenttisuhteet jäivät kohtuullisen pieniksi kokonaisvertailussa, vaikka yksittäisiä näytteitä tarkasteltaessa voitiinkin havaita isompia määriä myös muita mineraaleja.



Kuva 21. Pulverinäytteistä pXRD-analyysissä tunnistettujen mineraalien prosentuaalisten määrien vertailu. Yleisimmän tunnistettuja mineraaleja olivat albiitti ja kvartsi, jotka esiintyvät taulukossa selkeinä isoina palkkeina.

8.2 Kivinäytteistä pXRD-analysaattorilla tunnistetut mineraalit

Analysoiduista BOT-näytteistä valittiin kymmenen näytettä, joille tehtiin edellisessä kappaleessa esitetyn pulverianalyysin lisäksi pXRD-analyysi näytteen sisältämälle kalliopille. Näytteet pyrittiin valitsemaan siten, että näytteen yhden näytteen kivinapit olivat mahdollisimman homogeenisiä keskenään ja niiden uskottiin edustavan alueen todellista kallioperää. Näytteiden sisältämästä kalliopista hiottiin hienoa jauhetta, joka analysoitiin pXRD-analysaattorilla samoin kuin pulverinäytteet. Analyysiin pyrittiin valitsemaan kivinappeja, jotka edustavat alueen todellista kallioperää tai lohkaraita ja ovat suhteellisen paikallisia. Analysoiduista kiviinapeista tunnistetut mineraalit on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 4. BOT-näytteen kalliopista tunnistetut mineraalit. Taulukko on koostettu pXRD-analyysituloksista, jotka on esitetty liitteessä 1.

NÄYTE-TUNNUS	MINERAALIT (%)										
	Actinolite (Aktinoliitti)	Albite (Albiitti)	Biotite (Biotiitti)	Hornblende (Sarvivälke)	Magnetite (Magneiitti)	Muscovite (Muskoviitti)	Pargasite (Pargasiitti)	Phlogopite (Flogopiitti)	Quartz (Kvartsi)	Richterite (Richteriitti)	Tremolite (Tremoliitti)
27_243655		18.90						10.60	70.50		
28_243738		70.70	7.40					14.60	7.30		
29_247296		44.60							55.40		
30_247278	11.00	73.70			1.70			6.20	7.30		
31_244366		35.50		47.80					16.80		
32_244349									100.0		
33_244342	12.60	45.50						5.10	4.20		32.70
34_244372	13.70	45.20		16.60							24.50
35_244585		36.80				13.10			50.00		
36_244358	8.90	52.80	5.50				5.20	7.00	4.10	16.60	
Prosentuaalinen osuus yhteensä	4.62 %	42.37 %	1.29 %	6.44 %	0.17 %	1.31 %	0.52 %	4.35 %	31.56 %	1.66 %	5.72 %

8.3 Rigaku XRD-analysaattorilla tunnistetut mineraalit

Tutkimusnäytteistä valittiin yhdeksän näytettä lisäanalyysiin Oulun yliopiston Materiaalianalyysikeskuksella (MAKE) tehtävään laitosmallin XRD-analyysiin. Näytteet analysoitiin Rigaku XRD-analysaattorilla. Tällä menetelmällä näytteistä pystyttiin tunnistamaan 11 erilaista mineraalia. XRD-analyyseistä saadut tulokset käsiteltiin kokonaan Materiaalianalyysikeskuksessa ja tulokset on koottu alla olevaan taulukkoon 5.

Taulukko 5. Oulun yliopiston Materiaalianalyysikeskuksessa tehtyjen XRD-analyysien tulokset. Näytteet analysoitiin laitosmallisella Rigaku XRD-analysaattorilla. Taulukko on koostettu XRD analyysituloksista, jotka on esitetty liitteessä 2.

NÄYTE-TUNNUS	MINERAALIT (%)										
	Albiitti (Albite)	Mikrokliini (Microcline)	Anortiitti (Anorthite)	Kvartsi (Quartz)	Ferri-tschermankiitti	Siderofylliitti (Siderophyllite)	Klinoklori (Clinocllore)	Kupariikiisu (Chalcopyrite)	Magnetiitti (Magnetite)	Langbeiniitti (Langbeinite)	(Sodium aluminium)
243656	26.10	12.40	1.90	42.40	6.30	4.20	0.90	0.10	5.80		
243738	54.00	7.10	1.90	22.30	3.60	11.00	0.10				
244342	31.00	7.00	2.90	34.00	13.40	2.50	4.00	0.03	4.70		0.50
244349	33.10	11.00	8.40	26.90	5.10	2.80	4.40	0.04	0.51		7.70
244358	29.90	2.60	15.70	27.50	15.50	2.90	3.40	0.46	1.97		
244372	45.60	1.40	10.00	21.60	18.50	2.00	0.40	0.10			
244492	33.10	14.00	10.50	25.10	5.40	5.40	3.50	3.00			
247278	30.30	9.00	6.80	34.70	14.40	4.70					
251217	16.60			41.30	33.00	8.80				0.20	
Prosentuaalinen osuus yhteensä	33.32 %	7.17 %	6.46 %	30.66 %	12.81 %	4.93 %	1.86 %	0.41 %	1.44 %	0.02 %	0.91 %

Analysoiduista näytteistä tunnistettiin paljon samoja mineraaleja ja näytteet olivat keskenään suhteellisen homogeenisiä. Yleisimmät tunnistetut mineraalit olivat albiitti ja kvartsi ja näiden prosentuaalinen osuus näytteissä oli kaikista suurin. Lisäksi lähes kaikissa näytteistä voitiin tunnistaa mikrokliini, anortiitti, ferri-sthermankiitti, siderofylliitti sekä klinoklori. Kuparikiisua ja magnetiittia tavattiin noin puolessa analysoiduista näytteistä, jonka lisäksi kahdessa näytteessä tavattiin natrium-alumiinisulfaattia ja yhdessä näytteessä langbeiniittia. Koska natriumalumiinisulfaatti ja langbeiniitti olivat harvinaisia tutkituissa näytteissä, on näiden mineraalien osalta analyysihin syytä suhtautua kriittisesti. Muut näytteissä esiintyneet mineraalit sopivat hyvin alueen kallioperään ja aikaisemmin tehtyihin pXRD-analyysihin ja näiden osalta tuloksia voidaan pitää luotettavina.

8.4 Pulverinäytteiden ja kivinäytteiden tulosten vertailu pXRD-analyysissä

Vertailemalla pulverinäytteistä ja kivinäytteistä tunnistettuja mineraaleja, voidaan selvittää kuinka hyvin moreeninäytteen koostumus vastaa alueen kivien koostumusta. Vertailusta saadut tulokset on esitetty taulukossa 6. Mineraalit, jotka molemmista näytteistä tunnistettiin varmuudella, on merkitty taulukkoon tummemmalla vihreällä ja mineraalit, jotka tunnistettiin vain toisesta näytteestä, on merkitty taulukkoon punaisella. Lisäksi mineraalit, jotka koostumukseltaan ovat hyvin lähellä toisiaan on merkitty taulukkoon vaaleammalla vihreällä. Tällaiset mineraalit muistuttavat koostumukseltaan niin läheisesti toisiaan, että niiden erottaminen pXRD-analyysaattorilla on voinut aiheuttaa virheitä tuloksissa ja todellisuudessa kyseessä voi olla sama mineraali.

Taulukko 6. Pulverinäytteistä ja moreenin kiviläyhteistä saatujen pXRD-mineraalitulosien vertailu. Taulukko on koostettu liitteessä 2 esitetyistä tulosvertailuista.

MINERAALIT													
NÄYTETUNNUS	Actinolite (Aktinoliitti)	Albite (Albiitti)	Biotite (Biotiitti)	Calcite (Kalsiitti)	Hornblende (Sarvivälke)	Magnetite (Magneitiitti)	Muscovite (Muskoviitti)	Oligoclase (Olioglaasi)	Pargasite (Pargasiitti)	Phlogopite (Flogopiitti)	Quartz (Kvartsi)	Richterite (Richteriitti)	Tremolite (Tremoliitti)
NÄYTE 244585													
pulverinäyte 1_244585		x									x		
kivinäyte 35_244585		x					x				x		
NÄYTE 247278													
pulverinäyte 5_247278	x	x		x	x				x		x		x
kivinäyte 30_247278	x	x				x				x	x		
NÄYTE 247296													
pulverinäyte 6_247296		x			x						x	x	x
kivinäyte 29_247296		x									x		
NÄYTE 243738													
pulverinäyte 7_243738		x								x	x	x	
kivinäyte 28_243738		x	x							x	x		
NÄYTE 244366													
pulverinäyte 11_244366	x	x			x						x		
kivinäyte 31_244366		x			x						x		

[illegible]

Aktinoliitti ja tremoliitti

Aktinoliittia pystyttiin tunnistamaan neljässä pulverinäytteestä ja neljässä kivinäytteestä, joista kolme näytettä vastasi toisiaan. Aktinoliitti pystyttiin tunnistamaan näytteistä kohtuullisen hyvin ja mineraalit kivessä ja moreenissa vastaavat hyvin toisiaan. Tremoliitti on hyvin paljon aktinoliittia muistuttava mineraali ja sitä voitiin tunnistaa kahdesta pulverinäytteestä sekä kahdesta kivinäytteestä. Kahdesta näytteestä, joista tunnistettiin aktinoliittia sekä pulverista että kivinäytteestä voitiin tunnistaa myös tremoliittia. On mahdollista, että osa aktinoliitista on virheellisesti tunnistettu tremoliitiksi tai tremoliitti on jäänyt tunnistamatta toisesta näytteestä.

Albiitti

Albiittia tunnistettiin kaikista analysoiduista pulverinäytteistä ja se oli kvartsin lisäksi eniten esiintyvä mineraali. Albiittia tunnistettiin myös kaikista paitsi yhdestä kivinäytteestä. Albiitti on yleinen ja varsinkin tutkimusalueella tyypillinen mineraali ja tuloksia tämän tunnistamisen suhteen voidaan pitää oikeina.

Kvartsi

Albiitin tavoin kvartsi on yksi yleisimmistä mineraaleista ja sitä pystyttiin tunnistamaan kaikista pulverinäytteistä vallitsevana mineraalina. Lisäksi kvartsia tunnistettiin kaikista kivinäytteistä yhtä lukuun ottamatta. Voidaankin päätellä, että kvartsin tunnistaminen on helppoa ja luotettavaa pXRD-analyysillä.

Flogopiitti

Flogopiitti esiintyi yhteensä neljässä pulverinäytteessä ja neljässä kivinäytteessä. Näistä näytteistä kaksi vastasivat toisiaan. Koska flogopiitti tunnistettiin molemmista näytetyypeistä ja niille löytyi myös näytteiden välisiä yhteyksiä, voidaan todeta mineraalin tunnistuksen olleen kohtuullisen luotettava.

Sarvivälke ja pargasiitti

Sarvivälkettä voitiin tunnistaa kahdesta pulverinäytteestä ja kolmesta moreeninäytteestä. Yhdessä tutkituista näytteistä sarvivälkettä esiintyi sekä pulverinäytteessä että kivinäytteessä. Lisäksi yhdessä näytteistä tunnistettiin sarvivälkettä kivinäytteestä ja pargasiittia pulverinäytteestä. Sarvivälke ja pargasiitti kuuluvat molemmat amfiboliryhmään ja on mahdollista, että kyseisessä näytteessä esiintyy sama mineraali, joka on tunnistettu väärin toisessa analyysistä. Saman mineraaliryhmän mineraaleja on toisinaan vaikea erottaa toisistaan ja tämä saattaa johtaa mineraalien nimeämisvirheisiin. Tämän näytteen mineraalit on merkitty aiemmin esitettyyn taulukkoon 7 vaaleanvihreällä värillä. Amfiboliryhmän mineraalit ovat tyypillisiä mineraaleja tutkimusalueella ja analyysin perusteella voidaan todeta tulosten olevan kohtuullisen luotettavia, vaikka tarkkaa mineraalinimeä ei välttämättä pystytä määrittämään.

Mineraalit, joille ei löytynyt vastaavuuksia

Lisäksi tutkituista näytteistä löytyi joukko mineraaleja, joille ei löytynyt vastineita pulverinäytteiden ja kivinäytteiden välillä. Biotiitti voitiin tunnistaa yhdestä pulverinäytteestä ja yhdestä kivinäytteestä, mutta kyseiset näytteet olivat eri näytteitä. Kalsiittia tunnistettiin vain yhdestä pulverinäytteestä ja magnetiittia yhdestä

kivinäytteestä. Tästä huolimatta molemmat mineraalit ovat tyypillisiä mineraaleja tutkimusalueella.

Kivinäytteitä analysoidessa analysoitu aines edustaa tietyn kivilajin mineralogialla alueella. Kivinäytteet pyrittiin valitsemaan siten, että näytteen kivipalat olivat keskenään homogeeniset ja täten kiven voidaan uskoa edustavan paikallista kallioperää mahdollisimman hyvin. Moreeni puolestaan edustaa laajemman alueen mineralogialla ja on sekoitus monen kivilajin mineraaleja. On siis luonnollista, etteivät moreenin mineraalit täsmää täysin alla olevasta kalliosta otetun kivinäytteen mineralologiaan. Kuitenkin vertailemalla moreeninäytteiden ja kivinäytteiden mineraalikoostumuksia, saadaan käsitys, kuinka hyvin moreenista voidaan tunnistaa paikallisille kivilajeille tyypillisiä mineraaleja. Lisäksi saamalla mineraalikoostumukselle vastineita kalliosta voidaan todeta, että pXRD-menetelmä on toiminut hyvin tai ainakin kohtalaisesti kyseisten mineraalien tunnistamiseen.

8.5 Rigaku XRD- ja pXRD-analyysitulosten vertailu

Analysoiduista näytteistä tunnistettuja mineraaleja ja näiden prosenttiosuuksia näytteissä verrattiin keskenään tulosten yhdenmukaisuuden varmistamiseksi. Taulukoissa 8 a-i on esitetty näytteistä tunnistetut mineraalit ja näiden prosenttiosuudet. Mineraalit on luokiteltu taulukossa mineraaliryhmien mukaan ja myös näistä ryhmistä tunnistettujen mineraalien kokonaismäärää on verrattu toisiinsa. Mineraalit tai mineraaliryhmät, joiden vertailtu prosenttiosuus eroaa yli 15 % on korostettu punaisella värillä. Alle 15 % poikkeavuudet mineraaliryhmissä on merkitty vihreällä värillä.

Taulukot 7 a-i. Laboratorio-XRD:llä analysoitujen näytteiden vertailu kannettavalla XRD:llä saatuihin tuloksiin. Taulukko on koostettu liitteissä 1 ja 2 esitetyistä analyysituloksista.

a.

244372				
RYHMÄ	MINERAALIT	pXRD	XRD	EROTUS
Maasälpäryhmä	Mikrokliini		1.40 %	
	Albiitti	54.40 %	45.60 %	8.80 %
	Anortiitti		10.00 %	
Kiilleryhmä	Flogopiitti	4.10 %		
	Siderofylliitti		2.00 %	
Amfiboliryhmä	Aktinoliitti	9.40 %		
	Pargasiitti	3.70 %		
	Ferri-tschermankiitti		18.50 %	
	Richteriitti	11.10 %		
SiO ₂	Kvartsi	17.20 %	21.60 %	4.40 %
Muut	Klinoklori		0.40 %	
	Kuparikiisu		0.10 %	
PROSENTTEINA	YHTEENSÄ %	99.90 %	99.60 %	0.30 %
	Maasälpäryhmä	54.40 %	57.00 %	2.60 %
	Kiilleryhmä	4.10 %	2.00 %	2.10 %
	Amfiboliryhmä	24.20 %	18.50 %	5.70 %
	SiO ₂	17.20 %	21.60 %	4.40 %
	Muut	0.00 %	0.50 %	0.50 %

b.

244492				
RYHMÄ	MINERAALIT	pXRD	XRD	EROTUS
Maasälpäryhmä	Mikrokliini		14.00 %	
	Albiitti	67.70 %	33.10 %	34.60 %
	Anortiitti		10.50 %	
Kiilleryhmä	Flogopiitti	7.50 %		
	Siderofylliitti		5.40 %	
Amfiboliryhmä	Ferri-tschermankiitti		5.40 %	
SiO ₂	Kvartsi	24.70 %	25.10 %	0.40 %
Muut	Klinoklori		3.50 %	
	Kuparikiisu		3.00 %	
PROSENTTEINA	YHTEENSÄ %	99.90 %	100.00 %	0.10 %
	Maasälpäryhmä	67.70 %	57.60 %	10.10 %
	Kiilleryhmä	7.50 %	5.40 %	2.10 %
	Amfiboliryhmä	0.00 %	5.40 %	5.40 %
	SiO ₂	24.70 %	25.10 %	0.40 %
	Muut	0.00 %	6.50 %	6.50 %

c.

244342				
RYHMÄ	MINERAALIT	pXRD	XRD	EROTUS
Maasälpäryhmä	Mikrokliini		7.00 %	
	Albiitti	37.20 %	31.00 %	6.20 %
	Anortiitti		2.90 %	
	Oligoklaasi	41.60 %		
Kiilleryhmä	Siderofylliitti		2.50 %	
Amfiboliryhmä	Ferri-tschermankiitti		13.40 %	
SiO ₂	Kvartsi	21.20 %	34.00 %	12.80 %
Muut	Magnetiitti		4.70 %	
	Klinoklori		4.00 %	
	Kuparikiisu		0.03 %	
	Sodium alunium		0.50 %	
PROSENTTEINA	YHTEENSÄ %	100.00 %	100.03 %	0.03 %
	Maasälpäryhmä	78.80 %	40.90 %	37.90 %
	Kiilleryhmä	0.00 %	2.50 %	2.50 %
	Amfiboliryhmä	0.00 %	13.40 %	13.40 %
	SiO ₂	21.20 %	34.00 %	12.80 %
	Muut	0.00 %	9.23 %	9.23 %

d.

243656				
RYHMÄ	MINERAALIT	pXRD	XRD	EROTUS
Maasälpäryhmä	Mikrokliini		12.40 %	
	Albiitti	35.10 %	26.10 %	9.00 %
	Anortiitti		1.90 %	
	Oligoklaasi	39.50 %		
Kiilleryhmä	Siderofylliitti		4.20 %	
Amfiboliryhmä	Ferri-tschermankiitti		6.30 %	
SiO ₂	Kvartsi	25.00 %	42.40 %	17.40 %
Muut	Magnetiitti		5.80 %	
	Klinoklori		0.90 %	
	Kuparikiisu		0.10 %	
PROSENTTEINA	YHTEENSÄ %	99.60 %	100.10 %	0.50 %
	Maasälpäryhmä	74.60 %	40.40 %	34.20 %
	Kiilleryhmä	0.00 %	4.20 %	4.20 %
	Amfiboliryhmä	0.00 %	6.30 %	6.30 %
	SiO ₂	25.00 %	42.40 %	17.40 %
	Muut	0.00 %	6.80 %	6.80 %

e.

243738				
RYHMÄ	MINERAALIT	pXRD	XRD	EROTUS
Maasälpäryhmä	Mikrkliini		7.10 %	
	Albiitti	72.70 %	54.00 %	18.70 %
	Anortiitti		1.90 %	
Kiilleryhmä	Flogopiitti	7.70 %		
	Siderofylliitti		11.00 %	
Amfiboliryhmä	Ferri-tschermankiitti		3.60 %	
	Richteriitti	8.30 %		
SiO ₂	Kvartsi	11.20 %	22.30 %	11.10 %
Muut	Klinoklori		0.10 %	
PROSENTTEINA	YHTEENSÄ %	99.90 %	100.00 %	0.10 %
	Maasälpäryhmä	72.70 %	63.00 %	9.70 %
	Kiilleryhmä	7.70 %	11.00 %	3.30 %
	Amfiboliryhmä	8.30 %	3.60 %	4.70 %
	SiO ₂	11.20 %	22.30 %	11.10 %
	Muut	0.00 %	0.10 %	0.10 %

f.

244349				
RYHMÄ	MINERAALIT	pXRD	XRD	EROTUS
Maasälpäryhmä	Mikrokliini		11.00 %	
	Albiitti	69.20 %	33.10 %	36.10 %
	Anortiitti		8.40 %	
Kiilleryhmä	Siderofylliitti		2.80 %	
Amfiboliryhmä	Ferri-tschermankiitti		5.10 %	
	Richteriitti	3.70 %		
SiO ₂	Kvartsi	27.10 %	26.90 %	0.20 %
Muut	Magnetiitti		0.51 %	
	Klinoklori		4.40 %	
	Kuparikiisu		0.04 %	
	Sodium alunium		7.70 %	
PROSENTTEINA	YHTEENSÄ %	100.00 %	99.95 %	0.05 %
	Maasälpäryhmä	69.20 %	52.50 %	16.70 %
	Kiilleryhmä	0.00 %	2.80 %	2.80 %
	Amfiboliryhmä	3.70 %	5.10 %	1.40 %
	SiO ₂	27.10 %	26.90 %	0.20 %
	Muut	0.00 %	12.65 %	12.65 %

g.

251217				
RYHMÄ	MINERAALIT	pXRD	XRD	EROTUS
Maasälpäryhmä	Albiitti	32.50 %	16.60 %	15.90 %
Kiilleryhmä	Flogopiitti	10.00 %		
	Siderofylliitti		8.80 %	
Amfiboliryhmä	Aktinoliitti	14.30 %		
	Ferri-tschermankiitti		33.00 %	
	Sarvivälke	14.20 %		
SiO ₂	Kvartsi	29.00 %	41.30 %	12.10 %
Muut	Langbeiniitti		0.20 %	
PROSENTTEINA	YHTEENSÄ %	100.00 %	99.90 %	0.10 %
	Maasälpäryhmä	32.50 %	16.60 %	15.90 %
	Kiilleryhmä	10.00 %	8.80 %	1.20 %
	Amfiboliryhmä	28.50 %	33.00 %	4.50 %
	SiO ₂	29.00 %	41.30 %	12.10 %
	Muut	0.00 %	0.20 %	0.20 %

h.

244358				
RYHMÄ	MINERAALIT	pXRD	XRD	EROTUS
Maasälpäryhmä	Mikrokliini		2.60 %	
	Albiitti	68.40 %	29.9 %	38.50 %
	Anortiitti		15.70 %	
Kiilleryhmä	Siderofylliitti		2.90 %	
Amfiboliryhmä	Aktinoliitti	7.70 %		
	Ferri-tschermankiitti		15.50 %	
SiO ₂	Kvartsi	23.90 %	27.50 %	3.60 %
Muut	Magnetiitti		1.97 %	
	Klinoklori		3.40 %	
	Kuparikiisu		0.46 %	
PROSENTTEINA	YHTEENSÄ %	100.00 %	99.93 %	0.07 %
	Maasälpäryhmä	68.40 %	48.20 %	20.20 %
	Kiilleryhmä	0.00 %	2.90 %	2.90 %
	Amfiboliryhmä	7.70 %	15.50 %	7.80 %
	SiO ₂	23.90 %	27.50 %	3.60 %
	Muut	0.00 %	5.83 %	5.83 %

i.

247278				
RYHMÄ	MINERAALIT	pXRD	XRD	EROTUS
Maasälpäryhmä	Mikrokliini		9.00 %	
	Albiitti	45.40 %	30.30 %	15.10 %
	Anortiitti		6.80 %	
Kiilleryhmä	Siderofylliitti		4.70 %	
Amfiboliryhmä	Aktinoliitti	8.80 %		
	Pargasiitti	7.60 %		
	Ferri-tschermankiitti		14.40 %	
	Sarvivälke	6.90 %		
	Tremoliitti	8.40 %		
SiO ₂	Kvartsi	20.20 %	34.70 %	14.50 %
Muut	Kalsiitti	2.80 %		
PROSENTTEINA	YHTEENSÄ %	100.10 %	99.90 %	0.20 %
	Maasälpäryhmä	45.40 %	46.10 %	0.70 %
	Kiilleryhmä	0.00 %	4.70 %	4.70 %
	Amfiboliryhmä	31.70 %	14.40 %	17.30 %
	SiO ₂	20.20 %	34.70 %	14.50 %
	Muut	2.80 %	0.00 %	2.80 %

Maasälpäryhmästä tunnistetut mineraalit

Kaikista näytteistä tunnistettiin albiittia, jonka osuus kustakin näytteestä analyysimenetelmästä riippuen oli noin 16–72 %. Tunnistetun albiitin prosentuaalinen osuus näytteestä vaihteli kuitenkin merkittävästi pXRD- ja laboratorio-XRD-analyysitulosten välillä ja prosentuaalinen vaihtelu oli jopa yli 30 %. Osaltaan tämä kuitenkin selittyy vertailemalla maasälpäryhmän mineraalien analyysiä kokonaisuudessaan. Maasälpäryhmän mineraaleista voitiin tunnistaa XRD-analyysillä mikrokliinia, albiittia ja anortiittia, kun taas pXRD-analyysistä voitiin tunnistaa vain albiittia. Jos verrataan pXRD:n avulla tunnistetun albiitin suhdetta kaikkiin XRD-

analyysissä tunnistettuihin maasälpäryhmän mineraaleihin, huomataan prosentuaalisen eron olevan pääsääntöisesti 0–20 %.

Yhdessä näytteessä voitiin lisäksi tunnistaa pXRD-analyysillä oligoklaasia, joka vaikuttaa merkittävästi kyseisen näytteen mineraalisuhteisiin laboratorio-XRD-analyysiin verrattuna. Ilman oligoklaasia maasälpäryhmän mineraalien erotus vertailuanalyysissä olisi alle 10 %. Tämän perusteella voitaisiin päätellä oligoklaasin olevan virheellisesti tunnistettu ja edustavan todellisuudessa jotain sitä lähellä olevaa mineraalia.

Kvartsi

Kvartsi esiintyi yleisenä mineraalina näytteissä albiitin lisäksi ja analysoiduista vertailunäytteistä tätä pystyttiin tunnistamaan kahdeksasta näytteestä. Yhdestä näytteistä ei kvartsia tunnistettu kummallakaan analyysimenetelmällä ja näitä tuloksia voidaankin pitää kohtuullisen luotettavia. Kvartsin prosentuaalinen osuus näytteissä vaihteli analyysimenetelmästä riippuen noin 11–42 % välillä. Verrattaessa kvartsin määrää pXRD- ja laboratorio-XRD-analyysituloksissa, voitiin todeta vaihtelun menetelmien välillä olevan suhteellisen pieni. Osassa näytteistä prosenttiosuudet osuivat lähes tasan ja kaikissa näytteissä analyysillä tunnistettu määrä vaihteli alle 20 %. Tyypillinen prosentuaalinen vaihteluväli oli noin 10 %.

Kiilleryhmästä tunnistetut mineraalit

Kiilleryhmän mineraaleista voitiin tunnistaa flogopiittia ja siderofylliittiä, joista jälkimmäistä tunnistettiin näytteistä useammin. Laboratorio-XRD:llä näytteiden kiillemineraalit tunnistettiin siderofylliitiksi ja pXRD-analyysillä kiillemineraalit tunnistettiin puolestaan flogopiitiksi. Nämä kaksi mineraalia muistuttavat toisiaan

mineralogisesti ja todellisuudessa nämä mineraalit ovat todennäköisesti yksi ja sama mineraali.

Kiilleryhmän mineraalien prosentuaalinen osuus näytteistä tunnistetuista mineraaleista vaihteli 0–11 % välillä analyysimenetelmästä riippuen. Eri analyysimenetelmillä saatu kiilteiden määrä näytteissä vastasi kohtuullisen hyvin toisiaan ja vaihtelut näytteiden prosentuaalisissa määrissä vaihtelivat alle 5 %.

Amfiboliryhmästä tunnistetut mineraalit

Amfiboliryhmän mineraalit oli monipuolisin mineraaliryhmä, jonka mineraaleja näytteissä esiintyy ja näiden mineraalien osuus näytteistä vaihteli analyysimenetelmästä riippuen noin 0–33 % välillä. Tunnistetut amfiboliryhmän mineraalit erosivat merkittävästi toisistaan ja käytetyillä analyysimenetelmillä ei löydetty yhteisiä mineraaleja. Laboratorio-XRD-analyysissä pystyttiin tunnistamaan amfiboliryhmän mineraaleista pelkästään ferri-tschermankiittia, kun taas pXRD-analyysissä tunnistettiin aktinoliittia, tremoliittia, sarvivälkettä, pargasiittia sekä richteriittia.

Mineraalien kokonaismäärä molemmilla XRD-menetelmillä osui kohdalleen kohtuullisen hyvin ja suurimmassa osassa näytteistä mineraalien prosentuaalinen osuus erosi alle 10 % ja kaikissa näytteissä tämä pysyi alle 20 %. XRD-menetelmällä tunnistettu ferri-tschermankiitti muistuttaa mineralogialtaan pXRD:n avulla tunnistettua pargasiittia ja sarvivälkettä.

Muut tunnistetut mineraalit

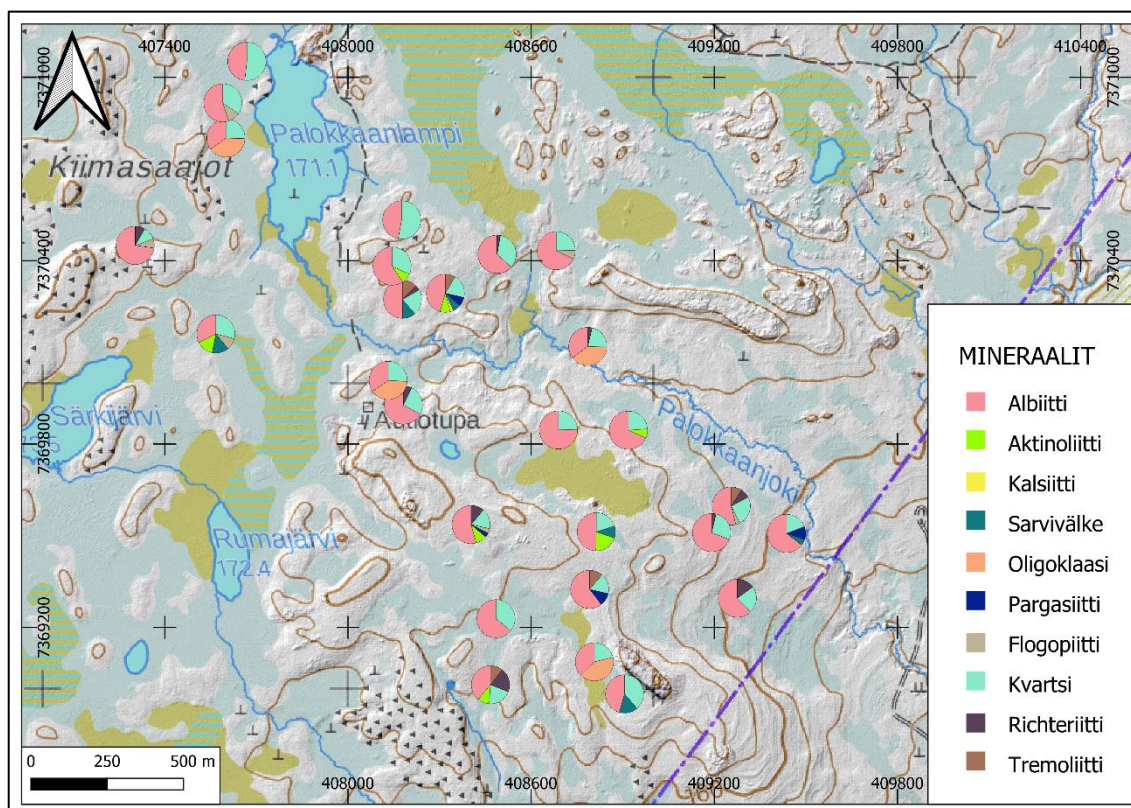
Näytteistä voitiin tunnistaa molemmilla analyysimenetelmillä joukko mineraaleja, jotka edustivat ainoana omaa mineraaliryhmäänsä. Näille mineraaleille ei myöskään löytynyt

vastinetta eri menetelmien analyyseissä. Tällaisia mineraaleja olivat magnetiitti, klinoklori, kuparikiisu, kalsiitti, langbeiniitti, natriumalumiinisulfaattia. Näiden mineraalien prosentuaalinen osuus koko näytteestä vaihteli analyysimenetelmästä riippuen noin 0–13 % välillä ja suurimmassa osassa näytteistä näiden mineraalien osuus oli vain muutaman prosentin luokkaa. Laboratorio-XRD-analyysissä tunnistettiin huomattavasti enemmän mineraaleja, kuin pXRD-analyysissä, jonka ainut ryhmään ”muut” kuuluva, tunnistettu mineraali oli kalsiitti. Laboratorio-XRD:llä saatua langbeiniittia tavattiin puolestaan vain yhdessä näytteistä ja sen pitoisuus tässä oli vain 0,2 %, joten tämä mineraali voidaan jättää isommissa tulosvertailuissa huomioimatta.

9 TULOSTEN TULKINTA

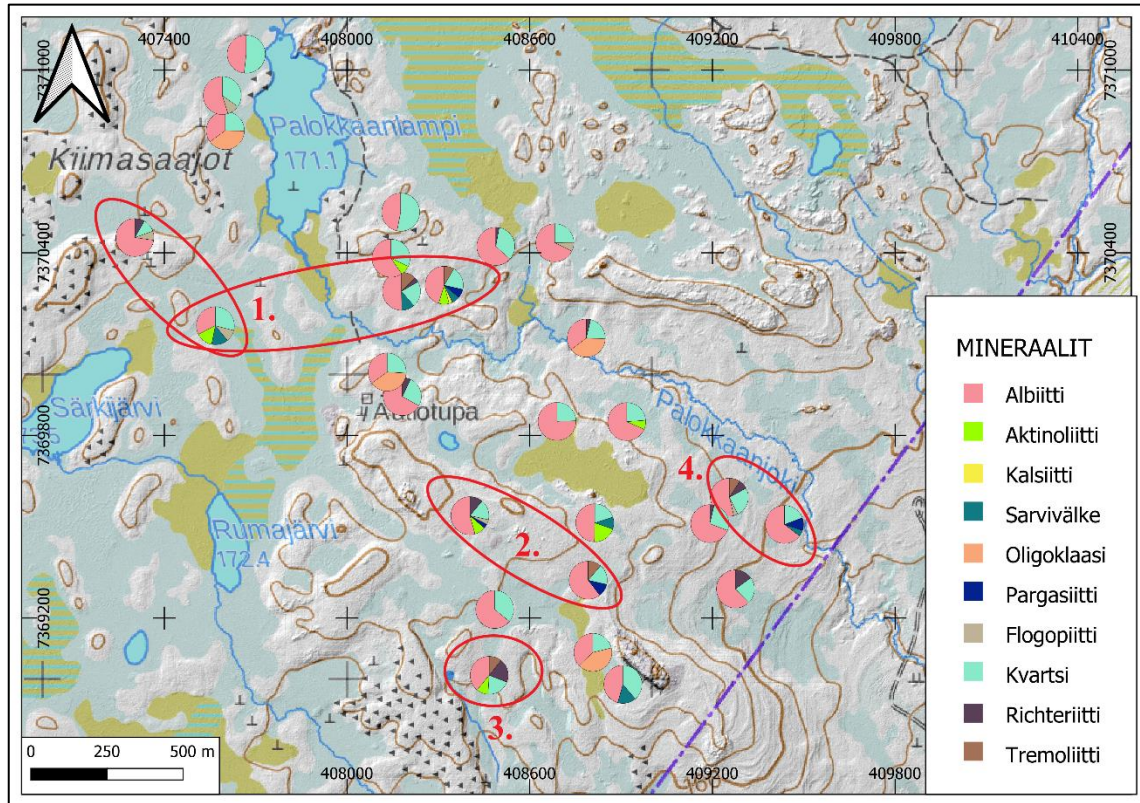
9.1 Tuloksien tarkastelu kartalla

Pulverinäytteille tehdyistä pXRD-analyyseistä saadut tulokset sijoitettiin kartalle (kuva 21) siten, että mineraalien keskinäistä prosentuaalista suhdetta näytepisteessä kuvaa ympyrädiagrammi. Näytteiden mineraalisuhteiden tarkastelu kartalla auttaa hahmottamaan mineraalien jakautumista tutkimusalueella ja tunnistamaan mahdollisia poikkeamia alueen mineralogiassa.



Kuva 22. Mineraalien prosentuaalinen jakautuminen näytepisteittäin esitettynä kartalla. (Muokattu: Avoimien aineistojen tiedostopalvelu © Maanmittauslaitos 2021)

Vallitsevana mineraalina alueella tavattiin albiittia ja kvartsia, jotka kattavat suuren osan tutkimusalueen näytteistä. Lisäksi joillakin alueilla näytteissä esiintyy merkittävä määrä sarvivälkettä, aktinoliittia ja oligoklaasia. Muiden mineraalien osuus näytteissä on suhteellisen pieni ja kattavuus satunnaista. Kuvassa 22 esitetään alueen yleisestä mineralogiasta havaittavat poikkeamat. Poikkeavat näytepisteet ovat ympyröitynä karttaan punaisella.



Kuva 23. Tutkittujen näytteiden mineralogia oli peruspiirteiltään samanlainen kautta tutkimusalueen. Muutamasta näytepisteestä voitiin kuitenkin tunnistaa suurempi joukko mineraaleja. Nämä näytepisteet/näytepisteryhmät on rajattu karttaan punaisilla ympyröillä. (Muokattu: Avoimien aineistojen tiedostopalvelu © Maanmittauslaitos 2021)

Tutkimusalueelta voitiin havaita neljä näytepistettä/näytepisteryhmää, joiden mineralogia poikkesi muun tutkimusalueen mineralogiasta. Nämä neljä tunnistettua aluetta ja niiden mineralogia on kuvattu alla tarkemmin.

1. Ensimmäinen tunnistettu poikkeama-alue on selkeästi merkittävin ja laajin poikkeama tutkimusalueella. Tämä alue sijaitsee suoraan Palokkaanjokien eteläpuolella, Palokkaan mineralisaation päällä. Tähän alueelta voitiin tunnistaa neljä näytepistettä, joiden mineraalit erottuivat muusta tutkimusalueen taustasta. Ympäröivälle alueelle tyypillisiä vallitsevia mineraaleja olivat albiitti ja kvartsi.

Näiden lisäksi merkityltä alueelta voitiin tunnistaa kalsiittia, aktinoliittia, tremoliittia, sarvivälkettä, richteriittiä sekä flogopiittia.

2. Toinen tunnistettu alue sijaitsee etelämpänä ensimmäiseen alueeseen verrattuna ja alueiden välinen ero on noin puoli kilometriä. Tällä alueella esiintyviä mineraaleja ovat albiitin ja kvartsin lisäksi aktinoliitti, tremoliitti, richteriitti, flogopiitti sekä pargasiitti.
3. Kolmas tunnistettu alue kattoi vain yhden näytepisteen, joka sijaitsi suoraan etelässä alueisiin yksi ja kaksi nähden. Tässä näytepisteessä esiintyviä mineraaleja olivat albiitti, kvartsi, aktinoliitti, tremoliitti ja richteriitti. Edellisiin alueisiin verrattuna näytepisteen mineralogia oli hieman suppeampaa eikä pisteestä tunnistettu flogopiittia, pargasiittia tai sarvivälkettä.
4. Neljäs tunnistettu alue sijaitsi muihin alueisiin nähden tutkimusalueen itäosassa. Tältä alueelta voitiin tunnistaa kaksi näytettä, joiden mineralogia poikkesi alueen yleisestä mineralogiasta. Molemmissa näytteissä vallitsevana mineraalina esiintyi albiittia ja kvartsia, joka on tyypillistä tutkimusalueen näytteille. Tämän lisäksi näytteistä voitiin tunnistaa tremoliittia, richteriittiä, flogopiittia, sarvivälkettä ja pargasiittia.

9.2 Tuloksien yhteensopivuus alueen kallioperään ja tunnettuun mineralogiaan

Kvartsin ja albiitin lisäksi näytteistä tunnistettiin paljon amfiboliryhmän ja kiilleryhmän mineraaleja. Yleisesti voidaan todeta tunnistettujen mineraalien vastanneen hyvin alueen kallioperän mineralogialla. Alueella esiintyviä sulfidimineraaleja ei pystytty juurikaan tunnistamaan pXRD-analysaattorin avulla näytteistä ja laboratorio-XRD-analyysissä tunnistetut sulfidipitoisuudet jäivät hyvin pieniksi. Monipuolisin mineralogia alueelta voitiin tunnistaa Palokkaan mineralisaation läheisyydestä ja voidaan olettaa mineralisaatiolla olevan vaikutus mineralogisiin tutkimuksiin.

9.3 Mahdolliset virhelähteet

Tässä kappaleessa on esitelty näytteiden ottoon ja analyysiin liittyviä mahdollisia virhelähteitä sekä niiden vaikutusta tulosten luotettavuuteen. Näytteiden tuloksia tulisi verrata aina toisiinsa ja tarkastella tutkittuja näytteitä kokonaisuutena, sillä yksittäiset poikkeamat näytteissä voivat olla virhelähteistä johtuvia muutoksia.

9.3.1 Näytteiden valinta

Näytteitä valittaessa pyrittiin ottamaan sellaisia näytteitä, jotka edustavat tutkimusalueen todellista pohjamoorenia. Näytteet on pyritty luokittelemaan geologien toimesta luotettaviksi pohjamooreninäytteiksi sekä muiden maa-aineskerrosten näytteiksi niiden ominaisuuksien perusteella. Näytteiden tutkimusta ja luokittelua voidaan pitää kohtuullisen luotettavana, sillä nämä menetelmät ja tunnistuspiirteet ovat kohtalaisen vakiintuneita ja erityyppiset näytteet voi kohtuullisen helposti erottaa toisistaan. Mikäli tutkittujen näytteiden joukossa on kulkeutuneita maa-ainesnäytteitä voi näiden näytteiden mineraalikoostumus poiketa huomattavasti alueen muista näytteistä. Tällaisia näytteitä ei

voida myöskään verrata alueen kallioperään eikä kyseisten näytteiden tulokset ole relevantteja tutkimuksen kannalta. Tutkimuksen alussa näytteet pyrittiin valitsemaan huolella, eikä tutkittujen näytteiden mineraalikoostumuksessa havaittu rajuja yksittäisiä poikkeamia, joten edellä kuvatun virhelähteen mahdollisuus voidaan katsoa olevan huomattavan pieni toteutetussa tutkimuksessa.

Näytteiden mineralogiset eroavaisuudet voivat olla myös seurausta näytteen eri materiaalien analysoinnista. Moreeninäytteestä analysoitiin seulottu hienoaines, joka edustaa jäätikön muodostamaa moreenikerrosta ja sen mineralogaa. Samasta näytteestä analysoidut kivilapit puolestaan voivat edustaa alueen kallioperää, jolloin ne ovat enemmän paikallisia kuin moreeninäytteet. Siksi moreeninäytteistä saadut mineralogiset tulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia kivilapinäytteistä saatujen tulosten kanssa. On myös mahdollista, että analysoidun kivilapinäytteen kivet ovat lähtöisin jäätikön kuljettamista lohkeista eivätkä edusta alueellista geologiaa. Kivilapinäytteet pyrittiin valitsemaan siten, että näyte sisälsi mahdollisimman homogeenisia kiviä, jotta sen voitaisiin olettaa edustavan alueen todellista kallioperää.

9.3.2 *Näytteiden käsittely*

Näytteiden käsittelyssä tuli kiinnittää erityistä huomiota pXRD-analyysiaattorin puhdistamiseen näytteiden välillä. Analyysimäärien ollessa pieniä, jo vähäinenkin kontaminaatio edellisestä näytteestä aiheuttaa merkittäviä muutoksia tuloksissa. Jokaisen analyysin jälkeen laite puhdistettiin huolellisesti paineilmalla ja tarkastettiin luupin avulla. Lisäksi riskinä oli tilassa mahdollisesti leijaileva mineraalipöly. Kaikista turvallisista tapoista käsitellä näytteitä olisi tehdä tämä vetokaapissa, jolloin ilmassa mahdollisesti leijuva mineraalipöly ei pääse kontaminoimaan näytteitä. Kaikki kontaminaation riskit pyrittiin minimoimaan näytteitä käsiteltäessä ja on epätodennäköistä, että tästä olisi aiheutunut muutoksia käsiteltyihin näytteisiin.

9.3.3 Näytteiden analysointi pXRD-analysaattorilla

Näytteiden analysointi pXRD-analysaattorilla vaatii harjoittelua ja kokemusta näytteistä. Joitakin näytteitä jouduttiin uudelleenanalysoimaan, koska tuloksista nähtiin suoraan analyysin olleen virheellinen tai vajaa. Näytteiden analysoinnissa tärkeimpiä tekijöitä onnistumisen kannalta oli kuiva ja oikea näytemäärä sekä riittävän monta analyysikertaa. Näytteiden analyysikertoja voitiin kasvattaa analyysin aikana tarpeen mukaan, jos näytteen mineraalipiikit näyttivät epäselviltä eikä niille löytynyt selkeitä kärkiä. Näytteiden analyysikerrat valittiin siten, että kaikki näytteestä selkeästi erottuvat piikit terävöityivät ja olivat helposti tunnistettavissa. On kuitenkin mahdollista, että kasvattamalla analyysikertojen määrää, olisi joistakin näytteistä voitu erottaa vielä pienempiä mineraalipitoisuuksia. Lisäksi osaan analyysistä jäi epäselviä piikkejä, jotka eivät tarkentuneet analyysikertoja lisäämällä. Tällaisia piikkejä oli hankala tunnistaa luotettavasti myöhemmin X Powder-ohjelmalla tehdyssä tulosten käsittelyssä.

9.3.4 Analyysitulosten tulkinta

Analyysitulosten tulkinta vaati harjoittelua ja varsinkin pienien ja epäselvien piikkien tunnistaminen oli toisinaan haastavaa. Ohjelmalla pystyttiin tunnistamaan helposti mineraalit, joiden piikit olivat selkeitä ja isoja, kuten albiitti ja kvartsi. Pienempien piikkien tunnistaminen oli haastavampaa, koska vertailukohtia näytteessä oli vähän. Joidenkin analyysien kohdalla piikkeihin täsmäsi myös useampi kuin yksi mineraali, jolloin näiden väliltä piti tehdä yksityiskohtaisempaa tarkastelua. Lisäksi kaikista pienimpiä mineraalipiikkejä oli hankala erottaa taustakohinasta ja tämä lisää mahdollisten virheiden määrää. On mahdollista, että jotkin hyvin pienet piikit ovat jääneet tunnistamatta tai joku epäselvistä pienistä piikeistä on tunnistettu virheellisesti. Näistä

mahdollisista virheistä johtuen onkin osaan tuloksista syytä suhtautua suuntaa antavina ja varsinkin hyvin pienet mineraalimäärät saattavat olla virheellisiä.

Analyysitulosten tulkinnan lisäksi mahdollisia eroavaisuuksia tai virheitä näytteisiin voi aiheuttaa eri tulkintaohjelmien ja niiden käyttämien erilaiset mineraalikirjastojen poikkeavuudet toisistaan. Kannettavalla XRD:llä analysoitujen näytteiden tulokset tulkittiin laitteen mukana tulleella XPowder-ohjelmalla, joka käyttää mineraalitietokantana AMCSD:n (American Mineralogist Crystal Structure Database) Difdata.txt-tietokantaa. Materiaalianalyysikeskuksessa näytteet tulkittiin puolestaan PDXL2-ohjelman avulla, joka käyttää ICDD:n PDF-4 mineraalitietokantaa. Molemmat tulkintaohjelmat käyttävät kvantitatiivisen laskennan perusteena RIR-metodia. Näiden kahden tulkintaohjelman ja niiden käyttämien tietokantojen erot voivat kuitenkin aiheuttaa virheitä mineraalien tunnistamisessa ja nimeämisessä samasta näytteestä.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

10.1 Mineralogia

Mineralogiset tulokset vastasivat hyvin alueen geologisia piirteiltä tunnistettujen mineraalien osalta. Näytteistä tunnistettiin eniten kvartsia ja albiittia ja näiden osuus näytteiden mineralogisesta koostumuksesta oli noin 30–70 % koko näytteen koostumuksesta. Näiden lisäksi tunnistettiin monia mineraaleja, joita tiedetään yleisesti esiintyvän alueen kallioperässä ja täten myös moreenissa. Tunnistetut mineraalit olivat kvartsin ja albiitin lisäksi pääosin erilaisia amfibolimineraaleja, kiilteitä sekä maasälpäryhmän mineraaleja. Harvemmin tunnistettuja ja pienempinä pitoisuuksina näytteissä esiintyi kiisumineraaleja, magnetiittia, kalsiittia sekä muutamia sulfaatteja.

Varsinkin kiisumineraalien tunnistaminen pXRD-analysaattorilla osoittautui hankalaksi ja nämä mineraalit tunnistettiin näytteistä pääosin laboratorio-XRD-analysaattorin avulla.

Tutkimusalueelta voitiin karkeasti rajata neljä erillistä aluetta, joiden mineralogia osoittautui poikkeavaksi tai monipuolisemmaksi ympäröiviin näytepisteisiin verrattaessa. Eniten mineraaleja pystyttiin tunnistamaan pXRD-analyysissä näytteestä, joka sijaitti hyvin lähellä Palokkaan eteläistä mineralisaatiota. Alueen näytteistä tulisi kuitenkin analysoida tiheämmällä verkolla, jotta mahdollisia poikkeavuuksia voitaisiin luotettavimmin osoittaa tutkimusalueelta.

10.2 Menetelmän toimivuus moreeninäytteille

Kannettavalla XRD:llä analysoituja näytteitä verrattaessa laboratorio-XRD:llä tehtyihin analyysihin voidaan todeta mineraalien tunnistamisen onnistuneen suhteellisen hyvin ja varsinkin kvartsin ja albiitin kaltaisia yleisiä mineraaleja oli helppo tunnistaa näytteistä. Tuloksia vertailtaessa voitiin löytää paljon yhteneviä piirteitä analyysien välillä ja varsinkin mineraaliryhmien tunnistaminen pXRD:n avulla onnistui hyvin. Mineraalien tarkka nimeäminen ja saman kaltaisten mineraalien erottaminen analyysissä osoittautui kuitenkin haastavaksi ja tässä on mahdollista tehdä virheitä. Eroavaisuuksiin voi myös vaikuttaa eri tulkintaohjelmien ja mineraalitietokantojen käyttö pXRD- ja laboratorio-XRD-analyysissä. Tulkintaohjelmien ja mineraalitietokantojen eroavaisuuksien lisäksi tulee huomioida analysoijan kokemus näytteiden tulkinnasta. Kokeneemman analysoijan on helpompi poimia mahdollisia piikkejä taustakohinasta ja määrittää mineraalien tarkempia nimiä. Myös tutkimusalueen geologinen tunteminen auttaa keskittämään analyysin tietyn tyyppisten mineraalien etsintään.

Moreeninäytteissä esiintyvien mineraalien pitoisuudet voivat olla pieniä ja kaikista pienimpiä pitoisuuksia ei voida pXRD:n avulla tunnistaa. Näin ollen on mahdollista, että joitakin mineraaleja ei näytteistä tunnistettu ollenkaan näiden pienen pitoisuuden takia.

Pienimpiä pitoisuuksia voi olla myös hankala erottaa taustakohinasta ja tunnistaa todelliset mineraalipiikit. Kivinapeille tehdyistä analyyseistä voitiin huomata näiden muodostamien piikkien olevan selkeästi isompia ja täten mineraalien määrittämisen analyysohjelmalla helpompaa.

Menetelmän voidaan todeta toimineen moreeninäytteille kohtuullisen hyvin, vaikka pienimmät mineraalipitoisuudet saattoivatkin jäädä huomaamatta analyyssissä. Menetelmän avulla voidaan saada hyvä kokonaiskuva moreenin ja alueen mineralogiasta sekä tunnistaa suurimpia mineraaliryhmiä luotettavasti. Lisäksi voidaan osoittaa mineralogisia poikkeamia tutkimusalueella. Menetelmän parempi toimivuus ja tulosten hyödyntäminen jatkossa vaatisi kuitenkin tutkimusalueelta tiheämpää analysointia näytteiden välillä.

LOPPUSANAT

Lopuksi haluan kiittää kaikkia, jotka ovat mahdollistaneet minulle tämän tutkielman kirjoittamisen. Kiitos professori Pertti Saralalle (Oulun yliopisto) tämän tutkielma-aiheen tarjoamisesta sekä ohjauksesta, jota olen saanut kirjoitusprosessin aikana. Suuri kiitos kuuluu myös Janne Kinnuselle (Mawson Gold) mahdollisuudesta toteuttaa tämä tutkielma. Haluan kiittää myös Matti Mäkikyröä (Mawson Gold) avusta, jonka sain näytteiden valitsemiseen, Jarmo Rauhalaa (GTK) avusta näytteiden analysoinnissa sekä Marcin Selentiä (Oulun yliopisto Materiaalianalyysikeskus).

Lämpimät kiitokset rakkaalle ystävälleni Anni Piispaselle loputtomasta kannustuksesta sekä saman graduahdistuksen jakamisesta aina projektin viime metreille asti. Kiitos myös Topias Puumalaiselle niistä monista graduun liittyvistä keskusteluista, joita kävimme työpäivien aikana. Lisäksi haluan kiittää kaikkia opiskelutovereitani kuluneista vuosista sekä aamuöiden sivistävistä geologisista keskusteluista. Suurimman kiitokseni haluan antaa puolisololleni Mikko Nenoselle kaikesta tuesta ja kannustuksesta sekä suomenlapinikoira Hulille loppumattomasta hännän heiluttamisesta.

VIITTEET

Billinge S. J. L. & Dinnebier, R. E. (2008). *Powder diffraction: Theory and practice*. Cambridge, Royal Society of Chemistry. 605 s.

Cook, N. (2021). *Update to Rajapalot Au-Co project*. Tukesin ja GTK:n kaivosasioiden info- ja keskustelutilaisuus 18.5.2021, Mawson Gold ltd. 40 s. (29.6.2021) Haettu osoitteesta: <https://tukes.fi/teollisuus/kaivos-malminetsinta-ja-kullanhuuhdonta/malminetsinta>

Cook, N. & Hudson, M. (2018). *Progress report on the geology, mineralization, and exploration activities on the Rompas-Rajapalot gold - cobalt project, Peräpohja belt, Lapland, Finland*. Mawson Resources Ltd. 95 s.

Dana, J. D. & Gaines, R. V. (1997). *Dana's new mineralogy: The system of mineralogy of James Dwight Dana and Edward Salisbury Dana (8. ed., entirely rewritten and greatly enlarged ed.)*. New York, John Wiley. 1819 s.

Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J. (1981). *Rock-forming minerals. vol. 4, framework silicates*. Lontoo, Longmans. 435 s.

Ermrich, M. & Opper, D. (2013). *XRD for the analyst: Getting acquainted with the principles (2nd ed.)*. Almelo, The Netherlands, PANalytical. 94 s.

Foster, M. D. (1960). *Interpretation of the composition of trioctahedral micas*. US Geological Survey Professional Paper, B-354. 49 s.

Hirvas, H. 1991. *Pleistocene stratigraphy of Finnish Lapland*. Geological Survey of Finland, Bulletin 354. 123 s.

Huhma, H., Cliff, R. A., Perttunen, V., & Sakko, M. (1990). *Sm–Nd and Pb isotopic study of mafic rocks associated with early Proterozoic continental rifting: The Peräpohja schist belt in northern Finland*. Contributions to Mineralogy and Petrology, 104. s. 369–379.

Hytönen, K. (1999). *Suomen mineraalit*. Espoo, Geologian tutkimuskeskus. 399 s.

Johansson, P. & Kujansuu, R. (2005). *Pohjois-Suomen maaperä: Maaperäkarttojen 1:400 000 selitys*. Espoo, Geologian tutkimuskeskus. 236 s.

Klein, C., Hurlbut, C. S., & Dana, J. D. (1993). *Manual of mineralogy: (After James D. Dana) (21st ed ed.)*. New York, Wiley. 532 s.

Köykkä, J. & Luukas, J. (2019). *Keski-Lapin temaattinen kallioperätutkimus ja kartoitus 2019*. GTK:n työraportti 99/2019. Espoo, Geologian tutkimuskeskus. 30 s.

Mawson Gold ltd. (2021). *Rompas-Rajapalot gold-cobalt project*. (29.6.2021) Haettu osoitteesta: <https://mawsongold.com/projects/finland/rompas-rajapalot-overview>.

Olympus (2021). *XRF and XRD analyzers - TERRA II Portable XRD Analyzer*. (29.6.2021) Haettu osoitteesta: <https://www.olympus-ims.com/en/xrf-xrd/mobile-benchtop-xrd/terra/>

Oulun yliopisto Materiaalianalyysikeskus (2021). *Laitteet- Rigaku SmartLab 9 kW röntgendiffraktometri (XRD)*. (30.6.2021) Haettu osoitteesta: <https://www.oulu.fi/mnt/node/34337>

Ranta, J. (2018). *Geological evolution and gold mineralization in the northern part of the Peräpohja belt, Finland: Evidence from whole-rock and mineral chemistry, and radiogenic and stable isotopes*. Oulun yliopiston geotieteiden julkaisuja, Ser. A, No: 38, Oulu, University of Oulu. 51 s.

Ranta, J., Molnár, F., Hanski, E., & Cook, N. (2018). *Epigenetic gold occurrence in a paleoproterozoic meta-evaporitic sequence in the Rompas-Rajapalot Au system, Peräpohja belt, northern Finland*. Bulletin of the Geological Society of Finland, Vol 90(1). 108 s.

Sarala, P. (2005). *Weichselian stratigraphy, geomorphology and glacial dynamics in southern Finnish Lapland*. Bulletin of the Geological Society of Finland, Vol 77(2). s. 71-104

Sarala, P. (2014). *Preliminary surficial geological interpretation and transport estimation in the Rumajärvi boulder field, in Eastern Ylitornio, Finland*. Rovaniemi, Geological Survey of Finland. 11 s.

Sarala, P. (2005). *Glacial morphology and dynamics with till geochemical exploration in the ribbed moraine area of Peräpohjola, Finnish Lapland*. Espoo, Geological Survey of Finland. 138 s.

Sutinen, R. (1992). *Glacial deposits, their electrical properties and surveying by image interpretation and ground penetrating radar*. Espoo, Geological Survey of Finland, Bulletin 359. 123 s.

Taipale, N. (2018). *Mineralogy of the paleoproterozoic Raja Au-Co prospect, Northern Finland*. Oulu, University of Oulu. 61 s.

Vanhanen, E., Cook, N.D.J., Hudson, M.R., Dahlenborg, L., Ranta, J.-P., J. Havela, T., Kinnunen, J., Molnár, F., Prave, A.R. & Oliver N.H.S. (2015) *The Rompas prospect, Peräpohja schist belt, Northern Finland, (Mineral deposits of Finland, Chapter 5.4, toim. Maier, W. D., Lahtinen, R., & O'Brien, H.)*. Amsterdam, Netherlands, Elsevier. s. 467-484.

Zoltai, T. & Stout, J. H. (1984). *Mineralogy: Concepts and principles*. New York (N.Y.): Macmillan. 505 s.

Sarala, P. & Koskinen, H. (2018). *Application of the portable X-Ray Diffraction (pXRD) analyser in surficial geological exploration*. Geologi vol 70(3). s. 58-68.

LIITTEET

Liite 1. Olympus Terra pXRD analyysitulokset pulveri- ja kivinappinäytteille.

Liite 2. Rigaku SmartLab 9 kW röntgendiffraktiometri (XRD) analyysitulokset pulverinäytteille.

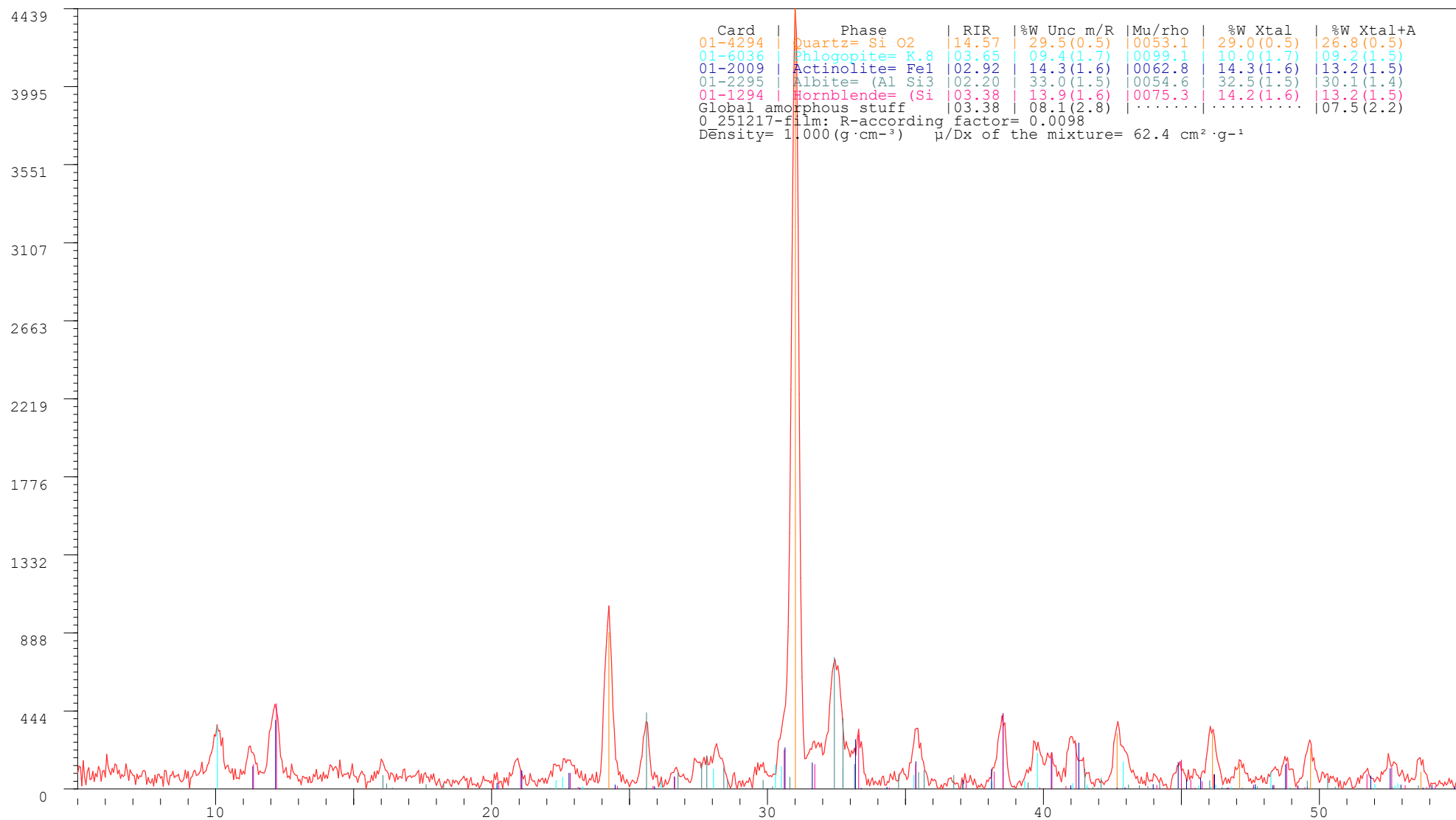
LIITE 1

OLYMPUS TERRA PXRD ANALYYSITULOKSET PULVERI- JA KIVINAPPINÄYTTEILLE

Sample: 0_251217-film

Lambda= 1.78897

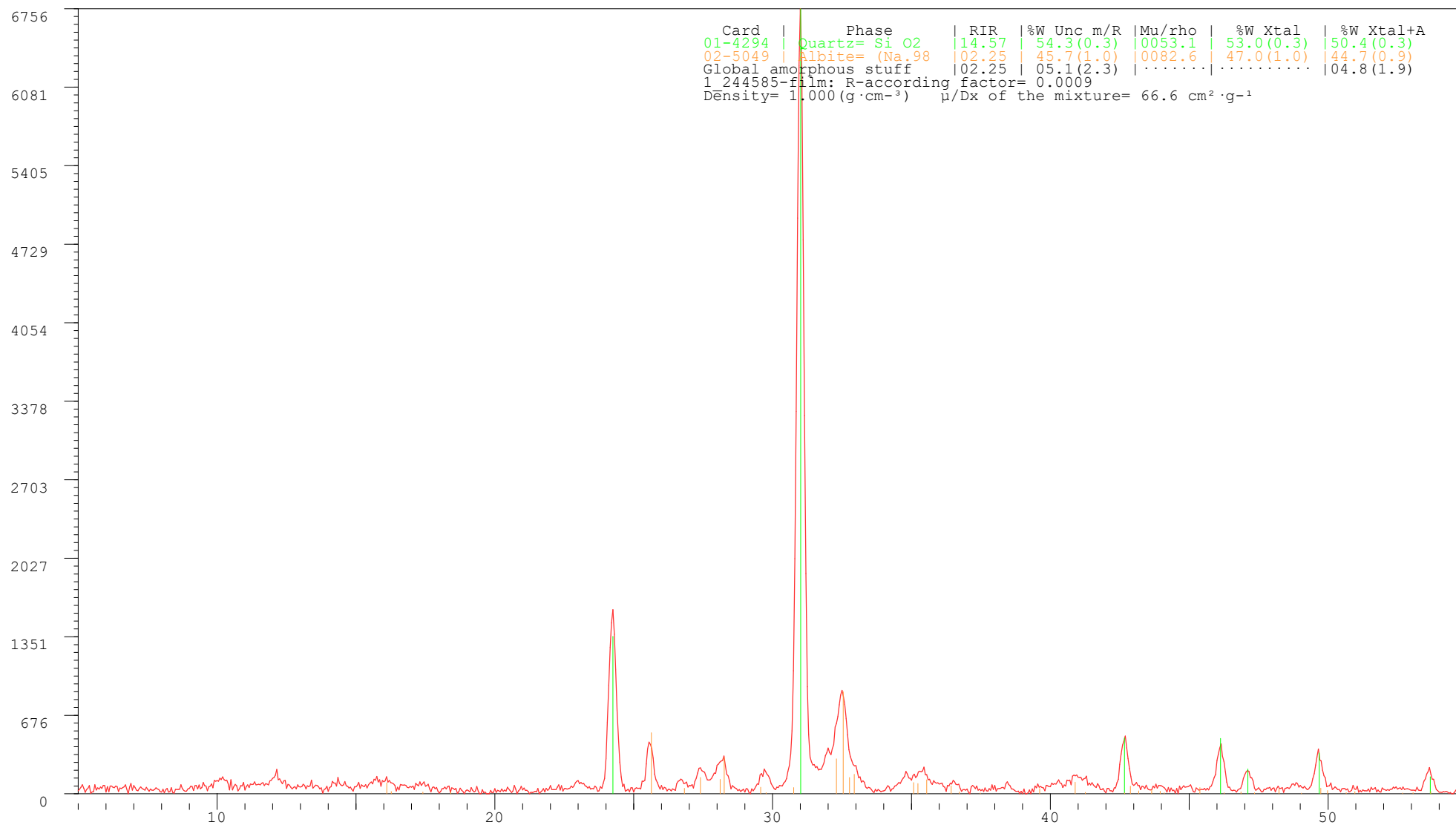
Date: 21.10.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 1_244585-film

Lambda= 1.78897

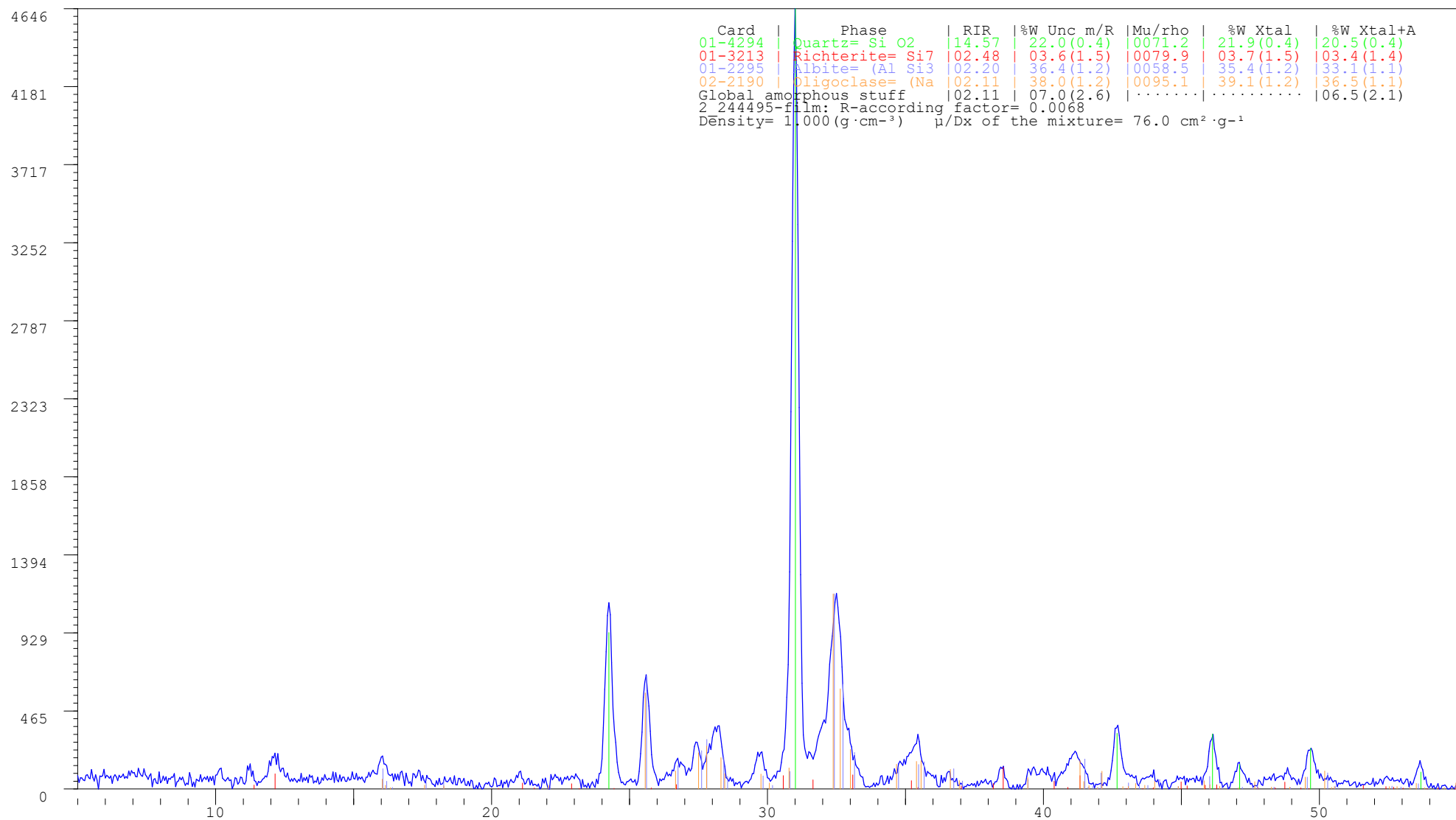
Date: 23.5.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com http://www.xpowder.com · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 2_244495-film

Lambda= 1.78897

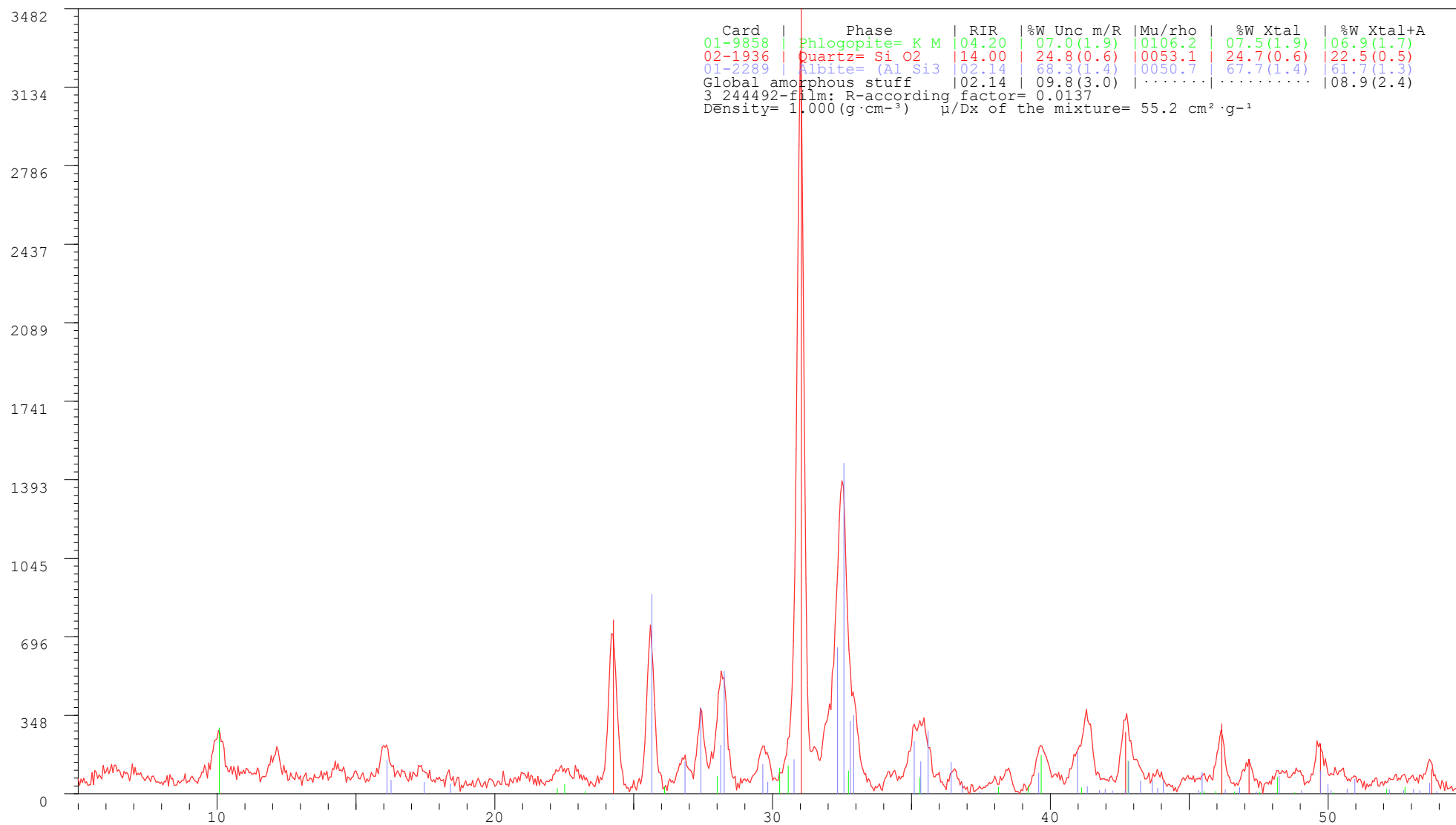
Date: 23.5.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com http://www.xpowder.com · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 3_244492-film

Lambda= 1.78897

Date: 1.9.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com http://www.xpowder.com · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 4_247266-film

Lambda= 1.78897

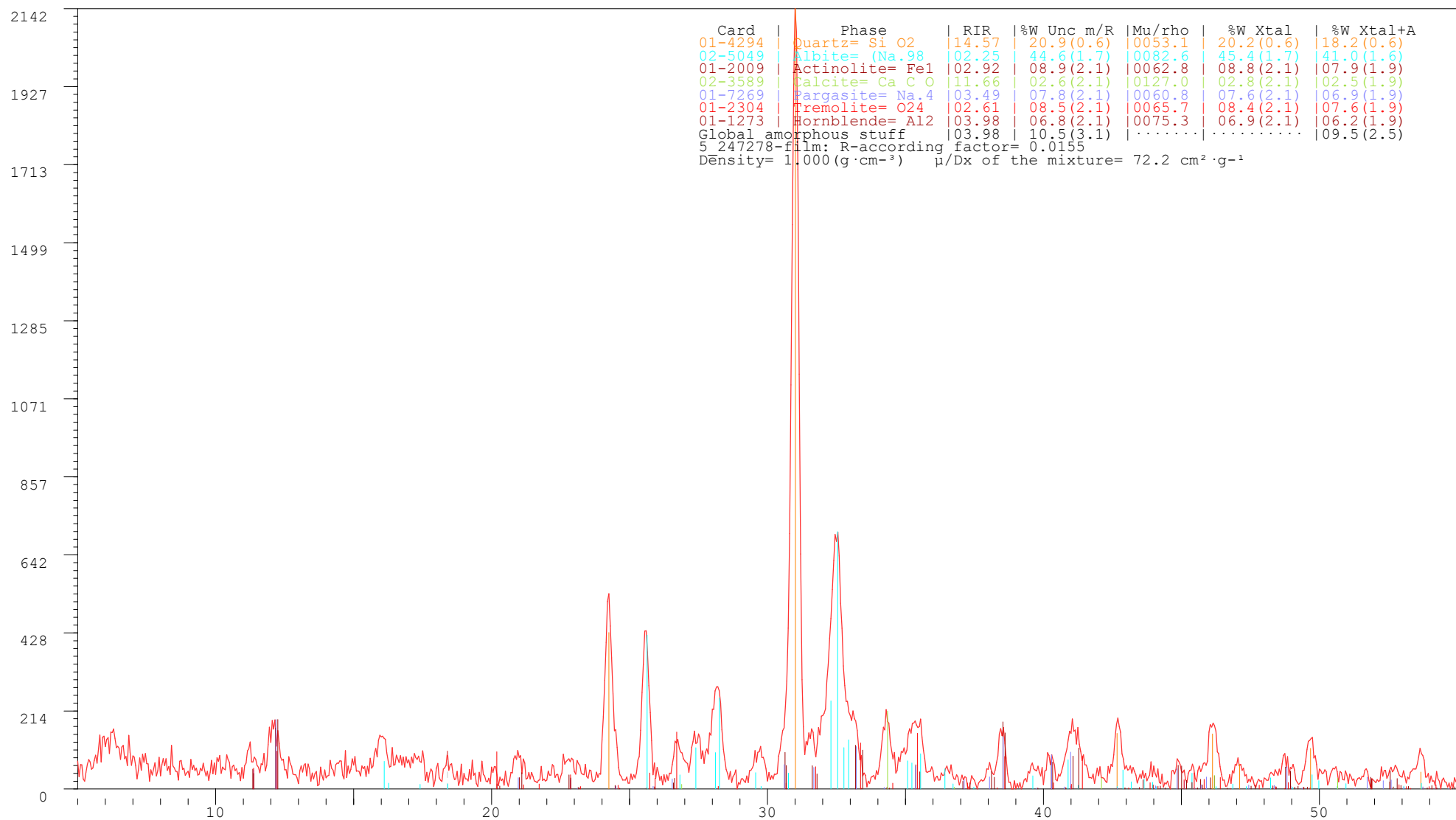
Date: 27.10.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 5_247278-film

Lambda= 1.78897

Date: 20.10.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 6_247296-film

Lambda= 1.78897

Date: 19.10.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 7_243738-film

Lambda= 1.78897

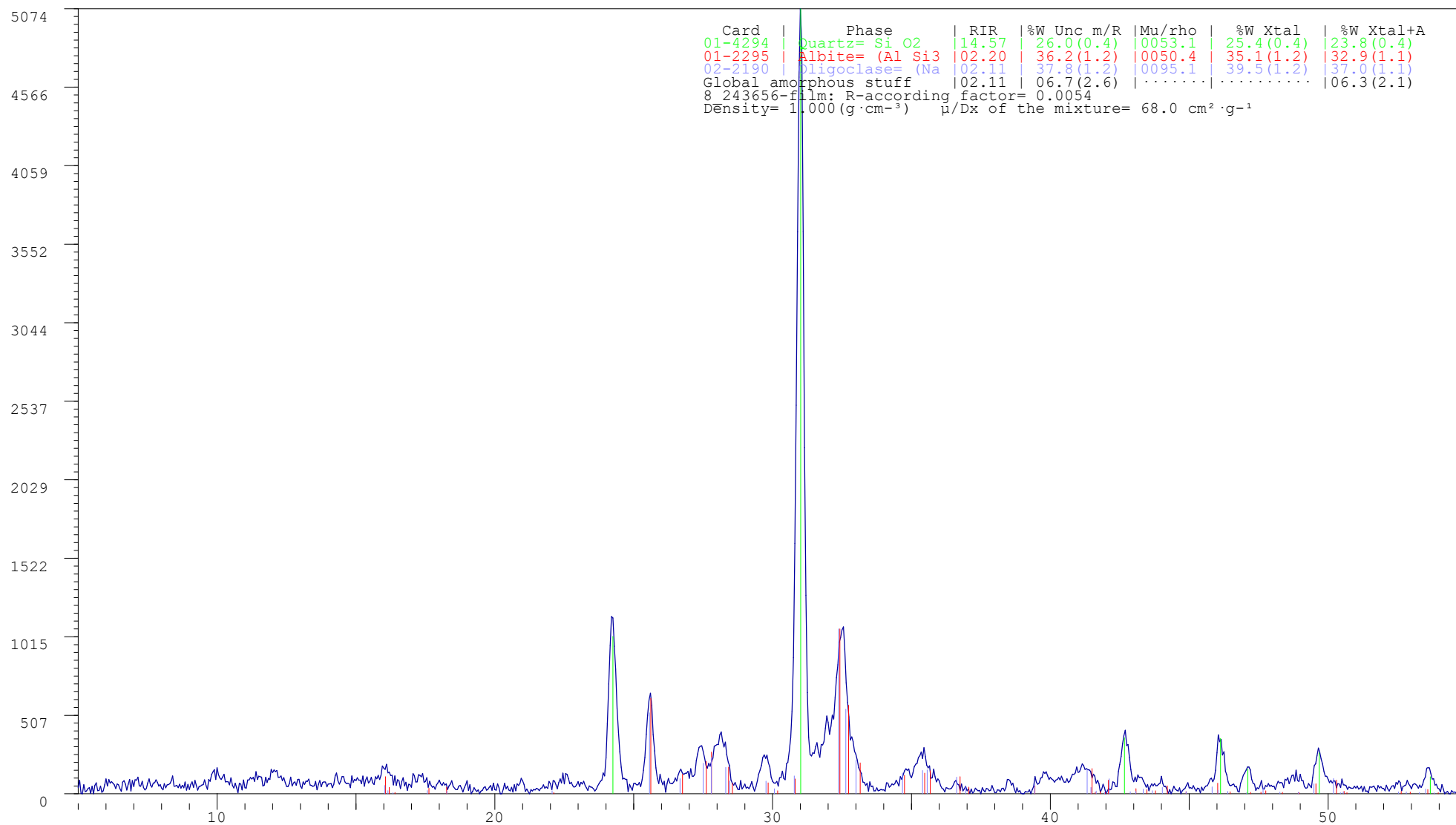
Date: 27.10.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 8_243656-film

Lambda= 1.78897

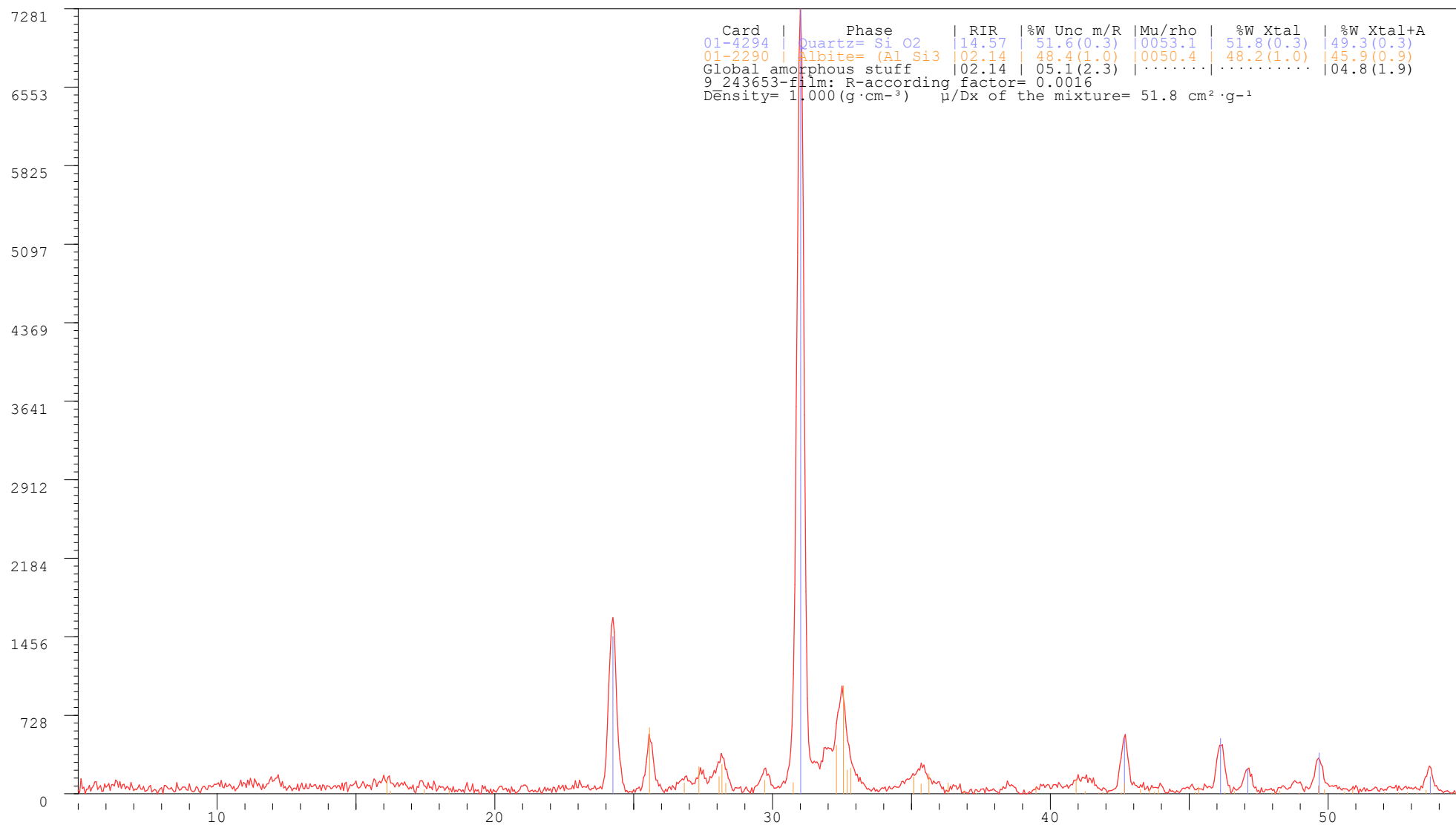
Date: 24.5.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com http://www.xpowder.com · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 9_243653-film

Lambda= 1.78897

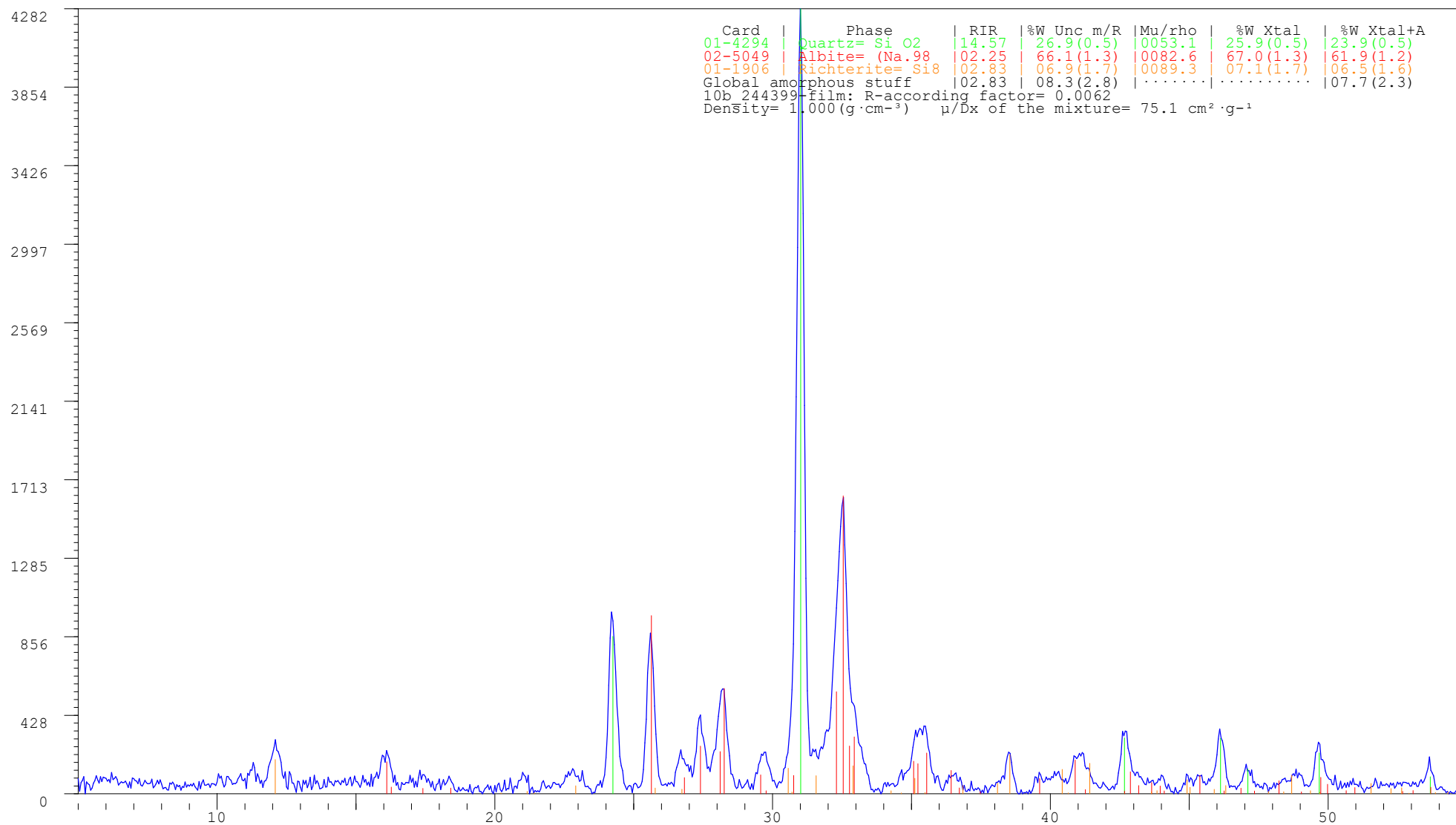
Date: 27.10.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 10b_244399-film

Lambda= 1.78897

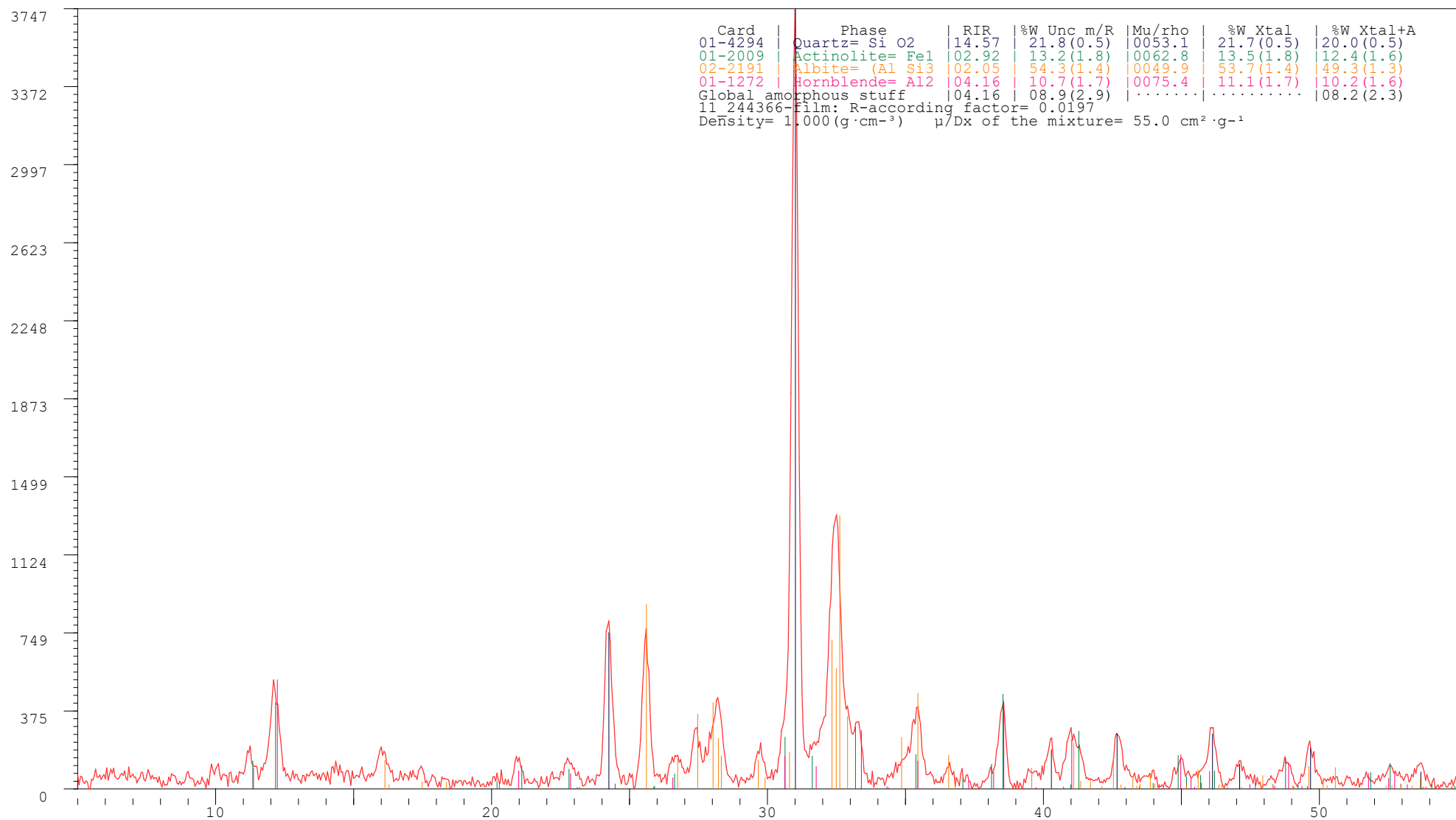
Date: 24.5.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 11_244366-film

Lambda= 1.78897

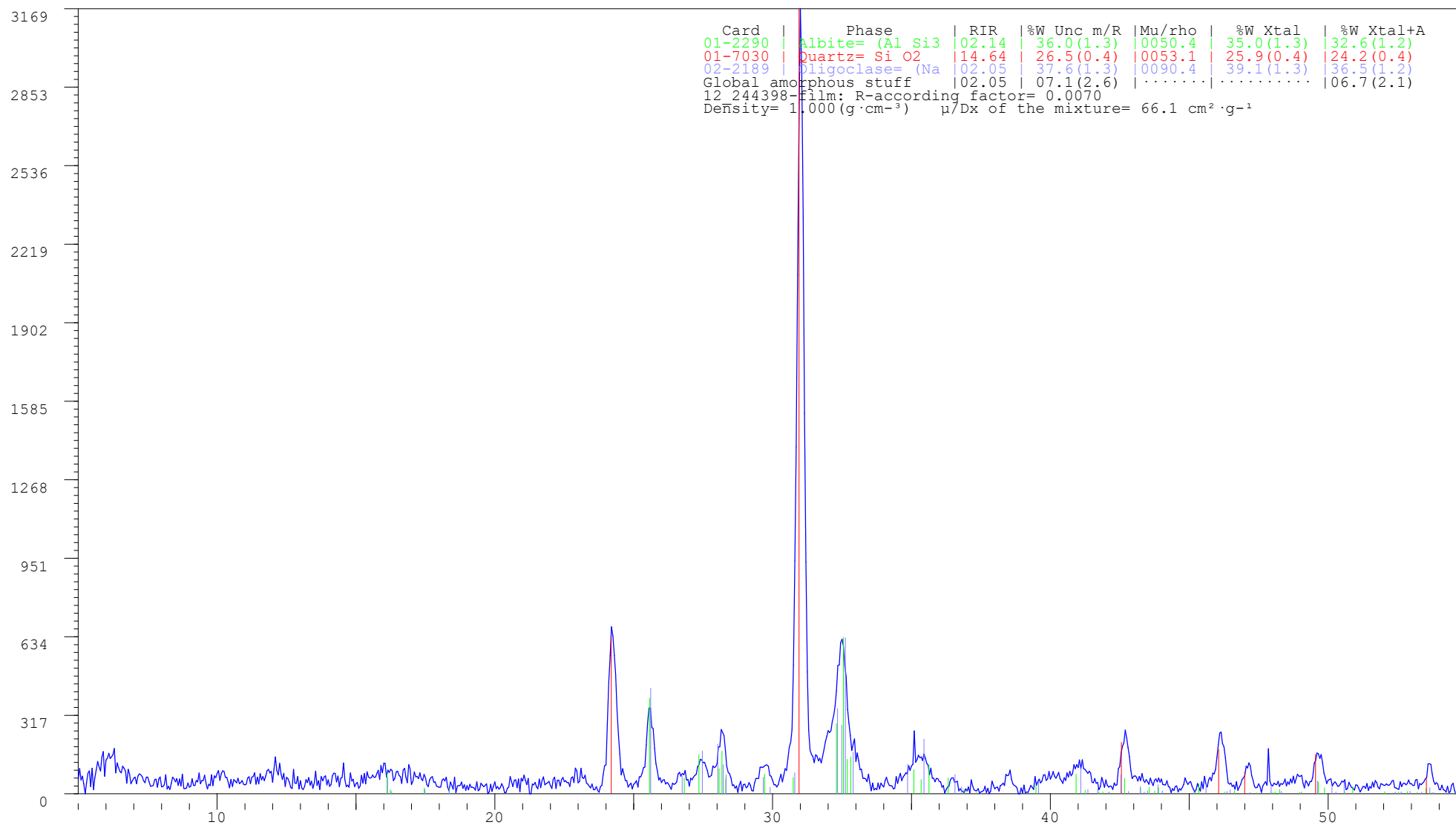
Date: 21.10.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 12_244398-film

Lambda= 1.78897

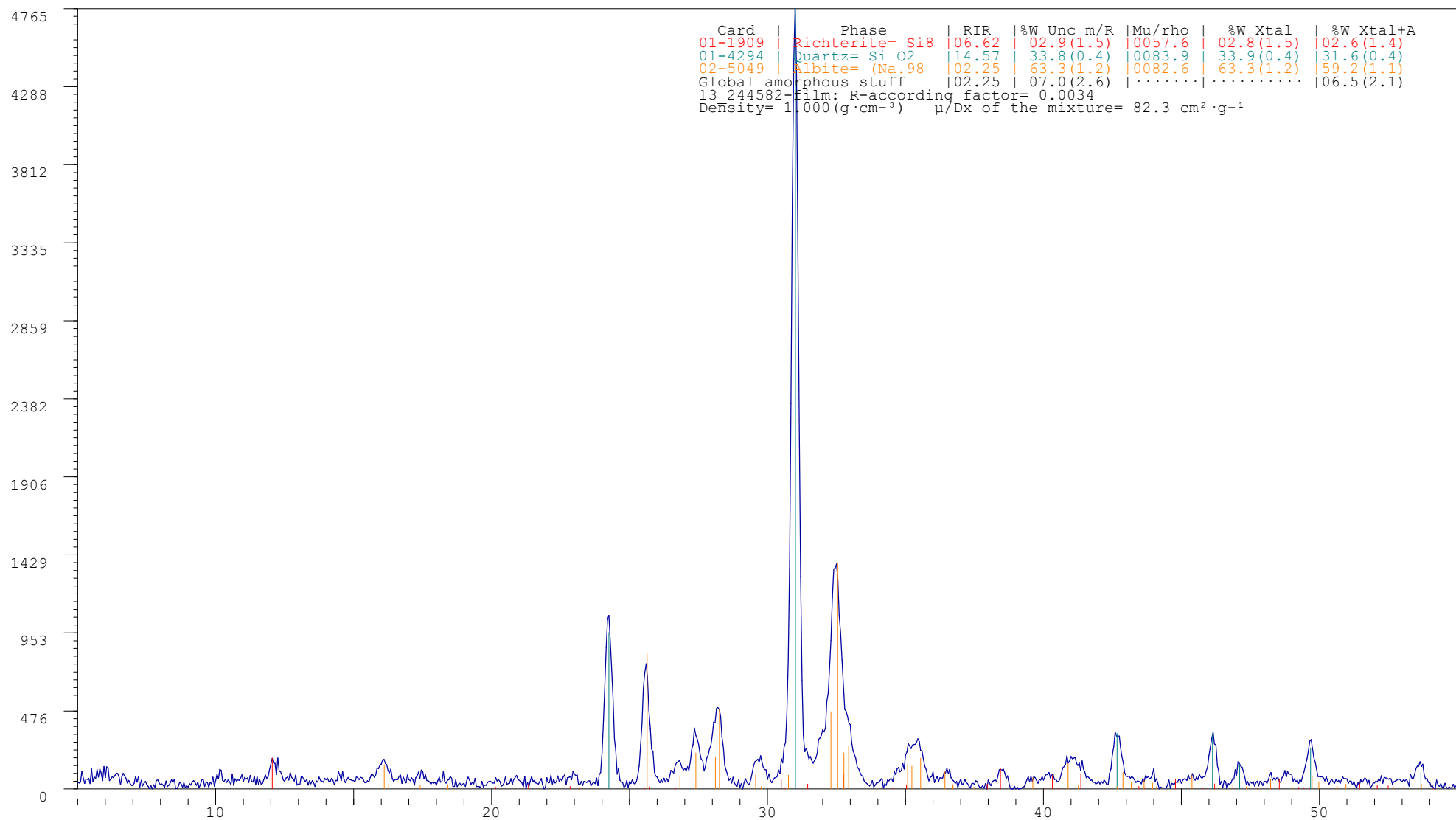
Date: 24.5.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com http://www.xpowder.com · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 13_244582-film

Lambda= 1.78897

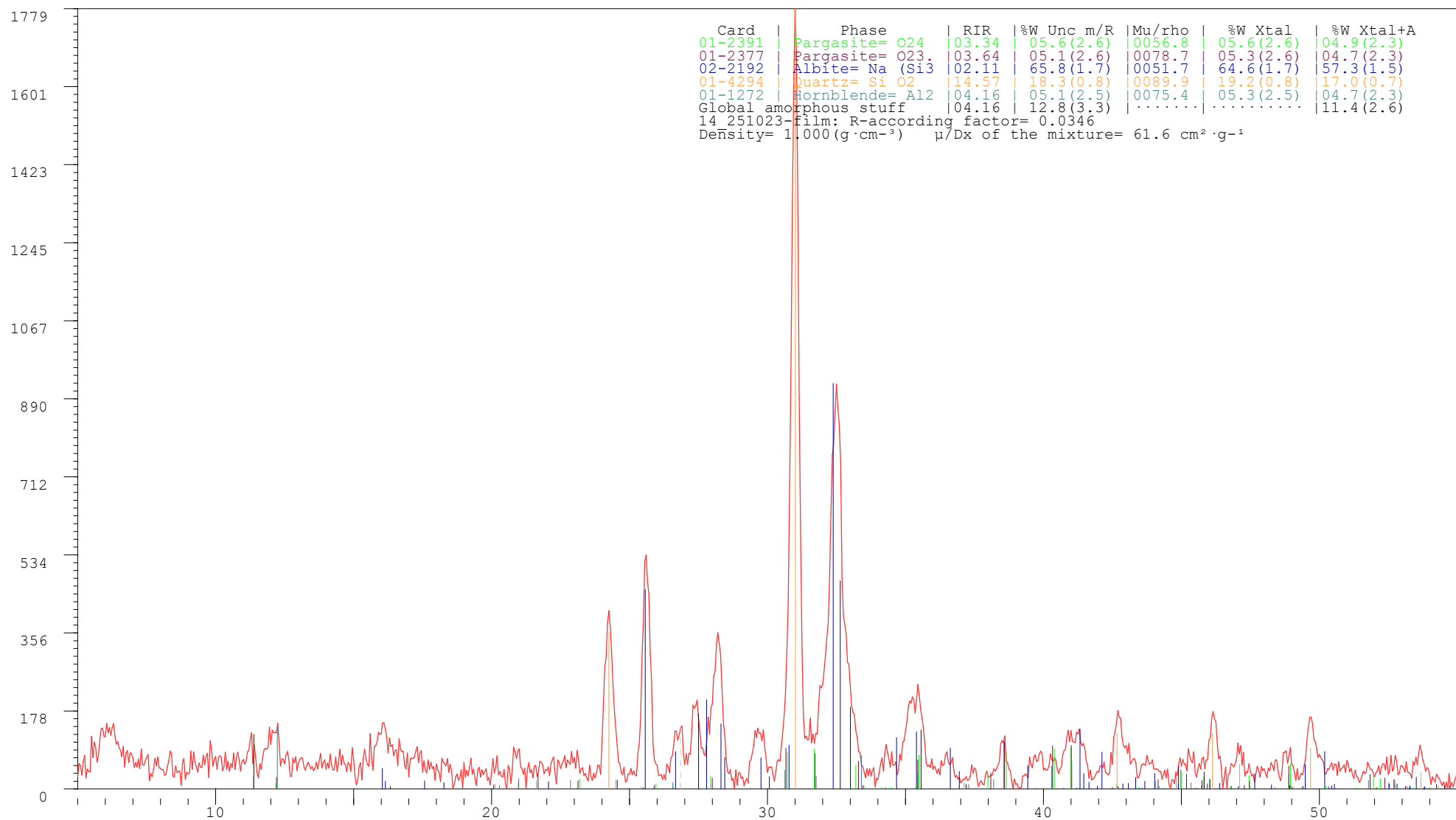
Date: 24.5.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com http://www.xpowder.com · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 14_251023-film

Lambda= 1.78897

Date: 27.10.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 15_244381-film

Lambda= 1.78897

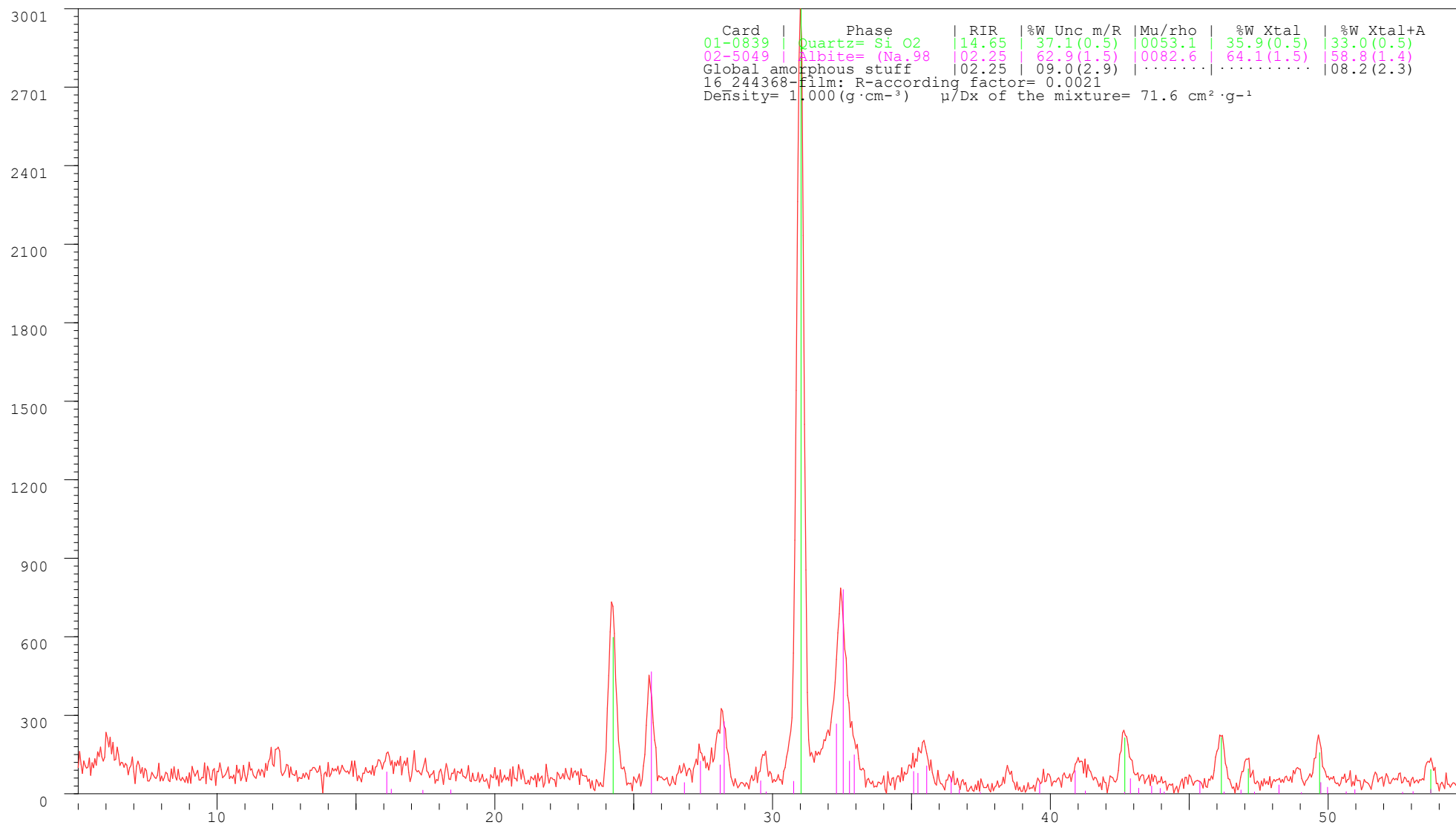
Date: 27.10.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com http://www.xpowder.com · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 16_244368-film

Lambda= 1.78897

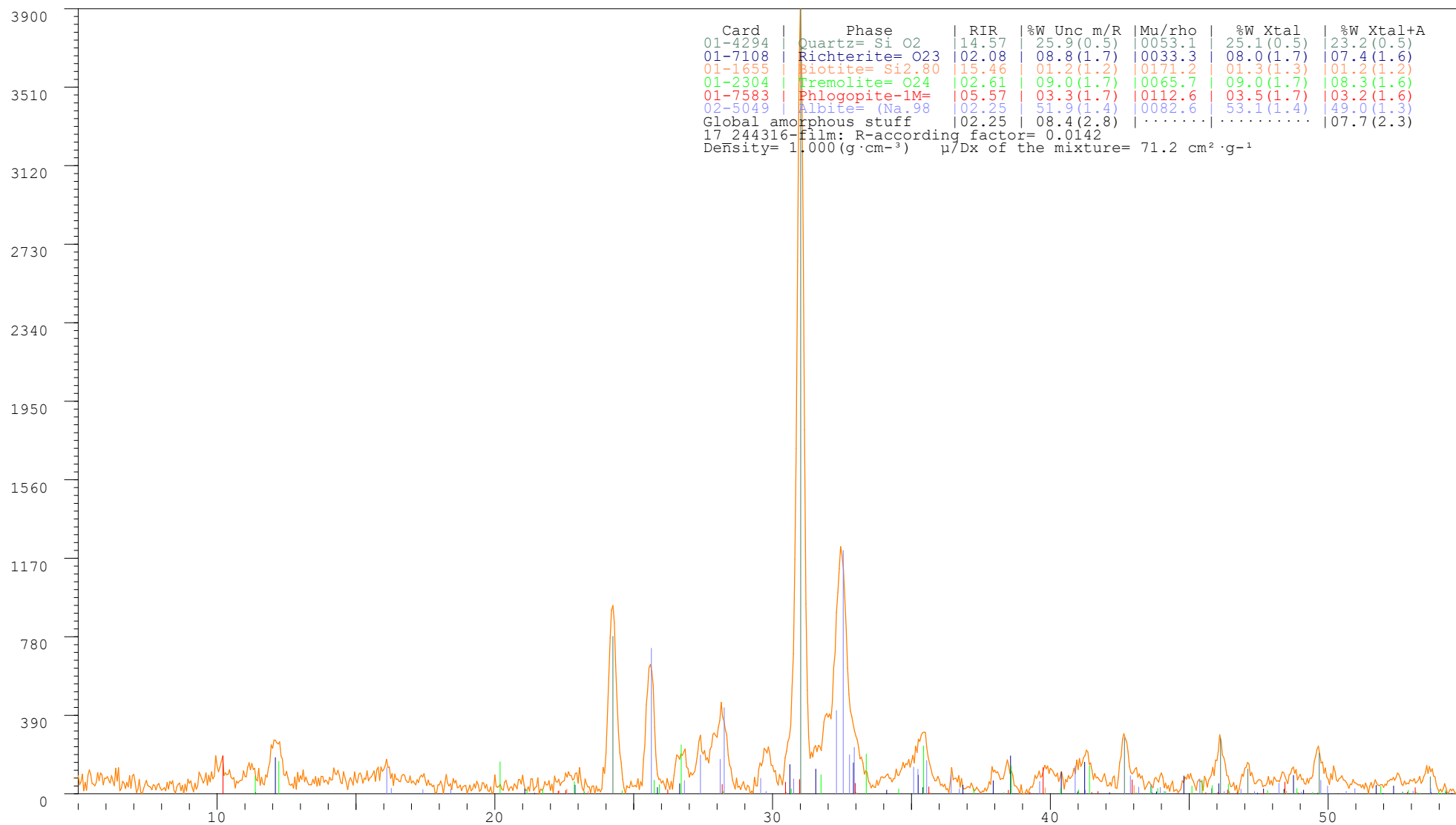
Date: 4.9.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 17_244316-film

Lambda= 1.78897

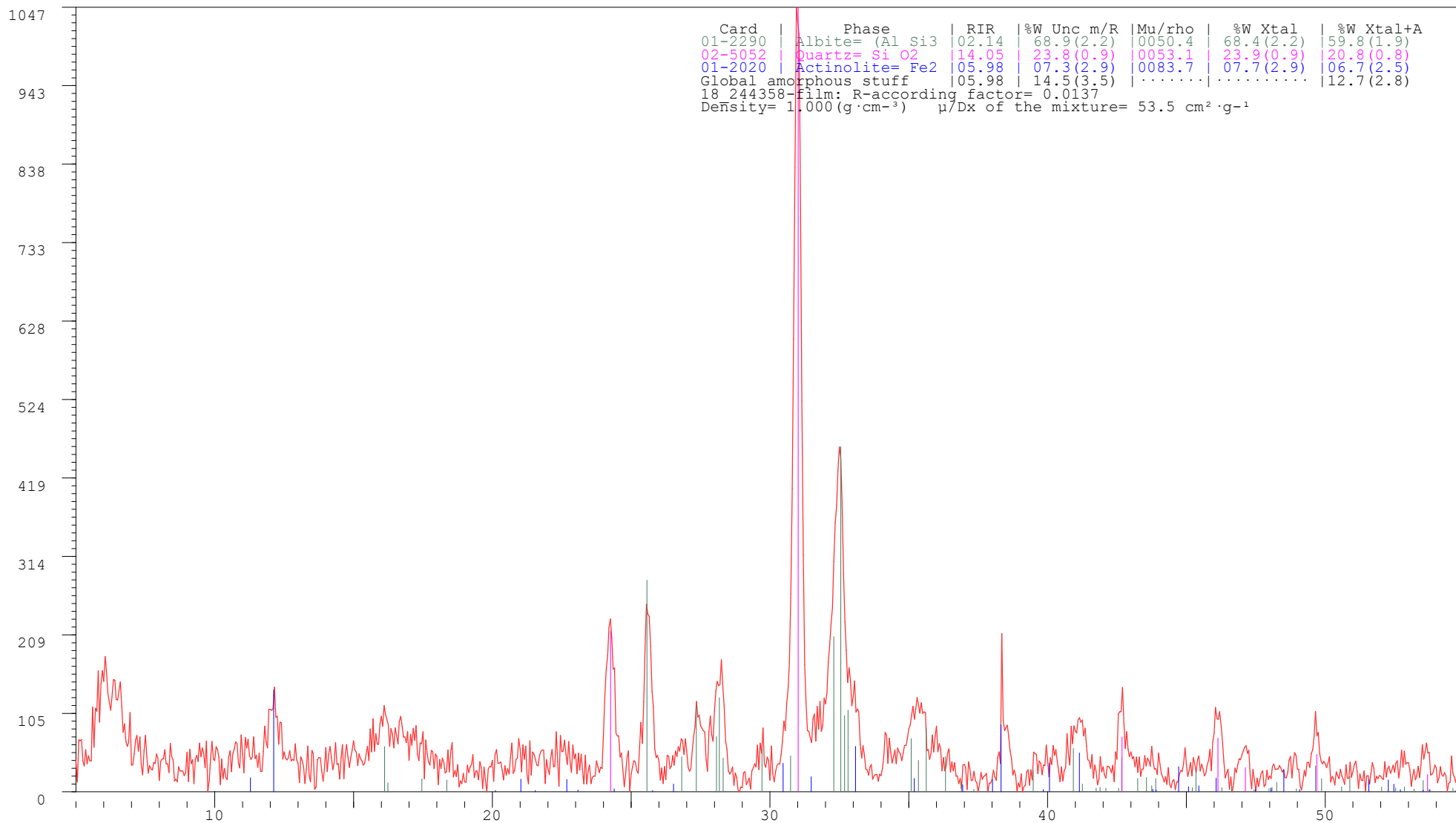
Date: 3.6.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com http://www.xpowder.com · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 18_244358-film

Lambda= 1.78897

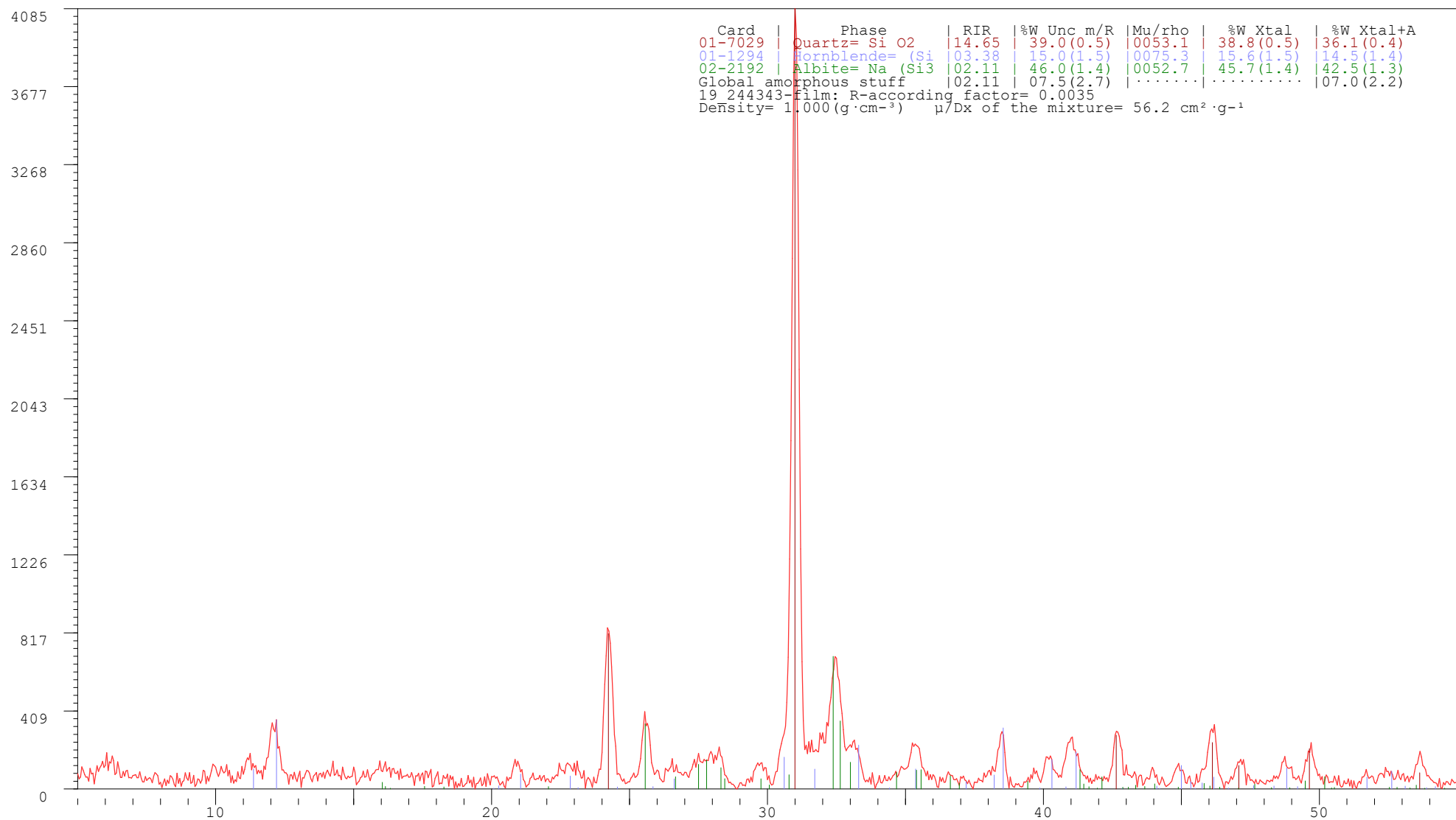
Date: 4.9.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 19_244343-film

Lambda= 1.78897

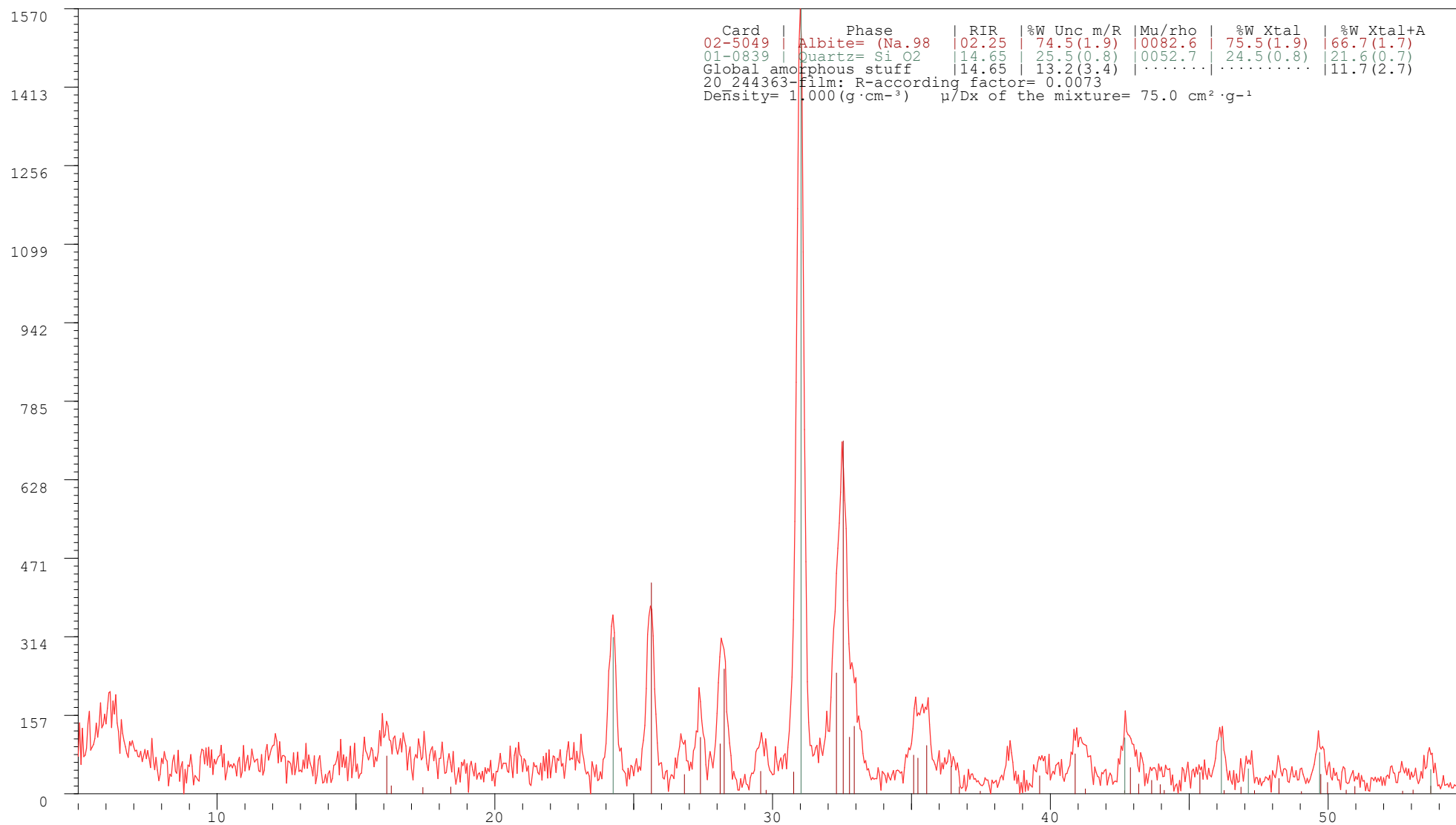
Date: 27.10.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 20_244363-film

Lambda= 1.78897

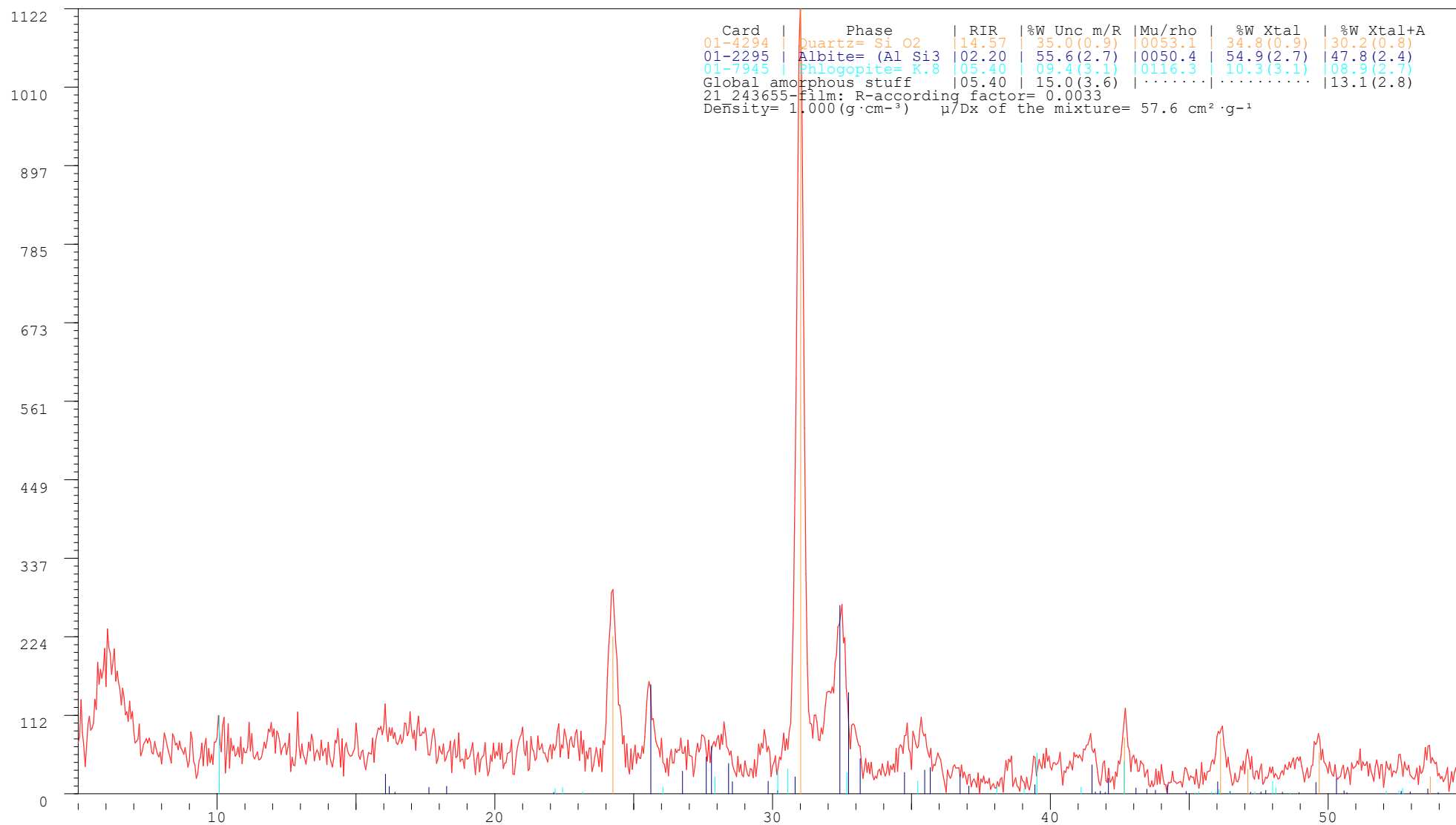
Date: 9.9.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 21_243655-film

Lambda= 1.78897

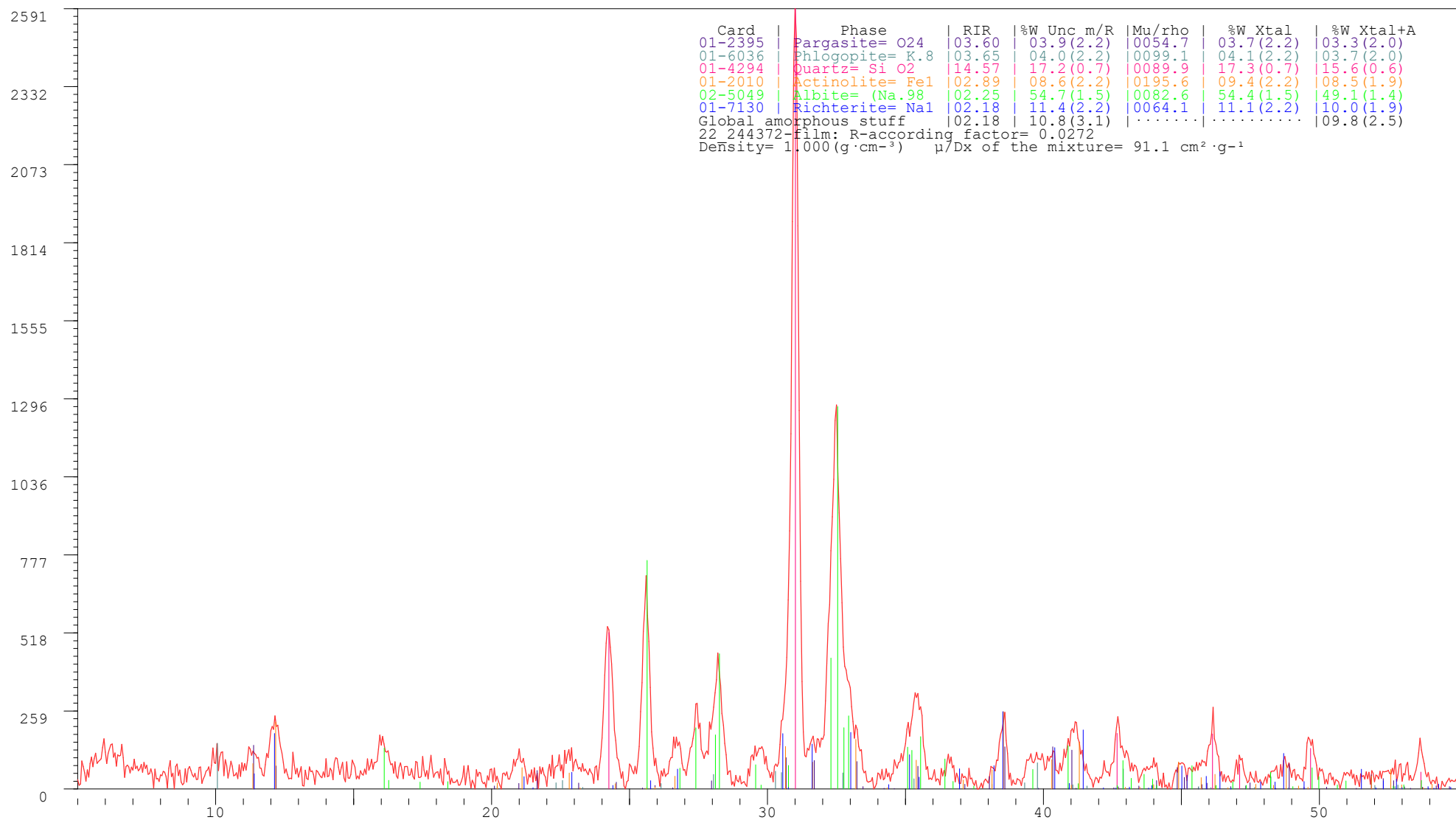
Date: 4.9.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 22_244372-film

Lambda= 1.78897

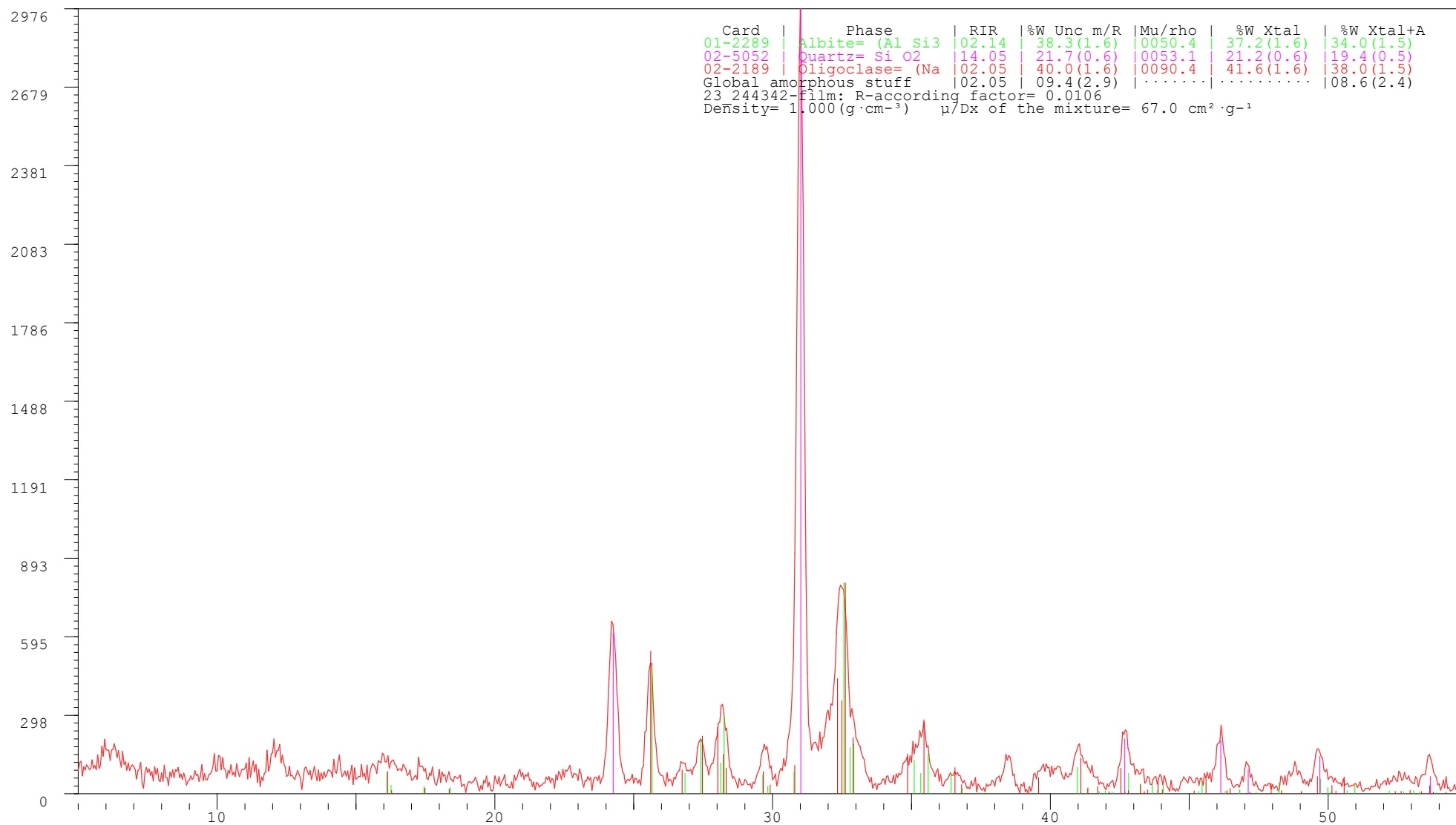
Date: 20.10.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 23_244342-film

Lambda= 1.78897

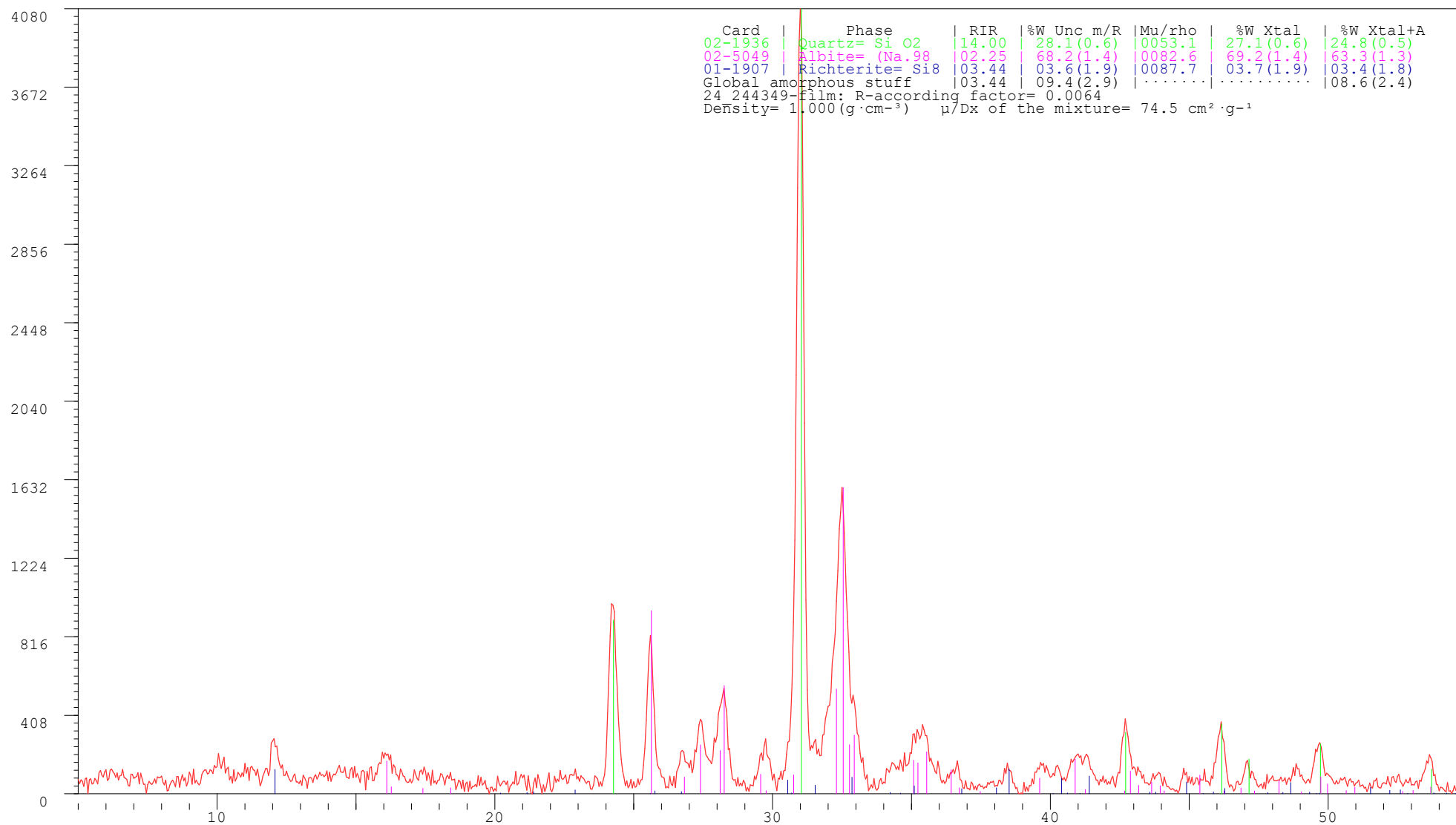
Date: 4.9.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 24_244349-film

Lambda= 1.78897

Date: 8.9.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 25_251033-film

Lambda= 1.78897

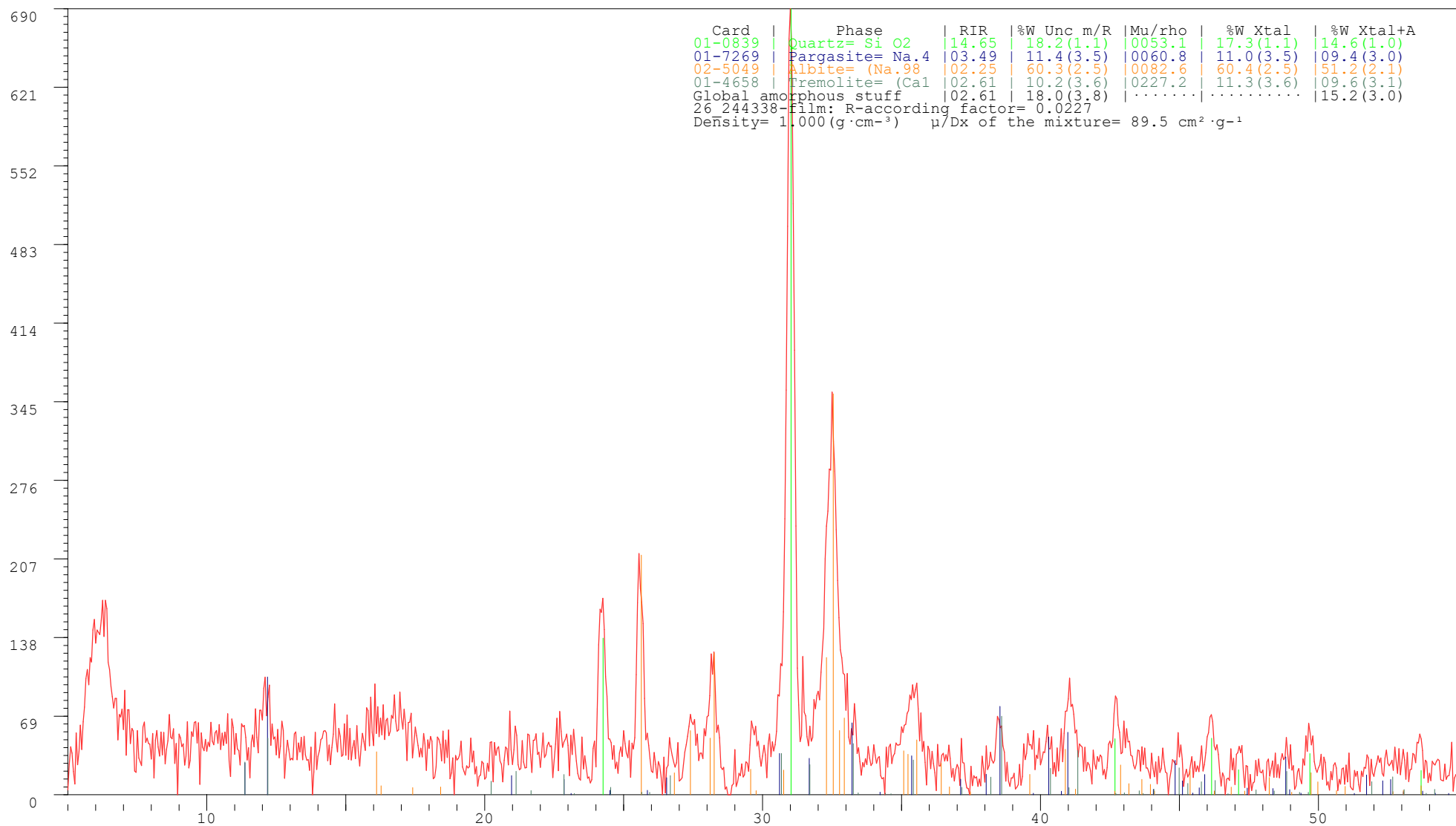
Date: 8.9.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 26_244338-film

Lambda= 1.78897

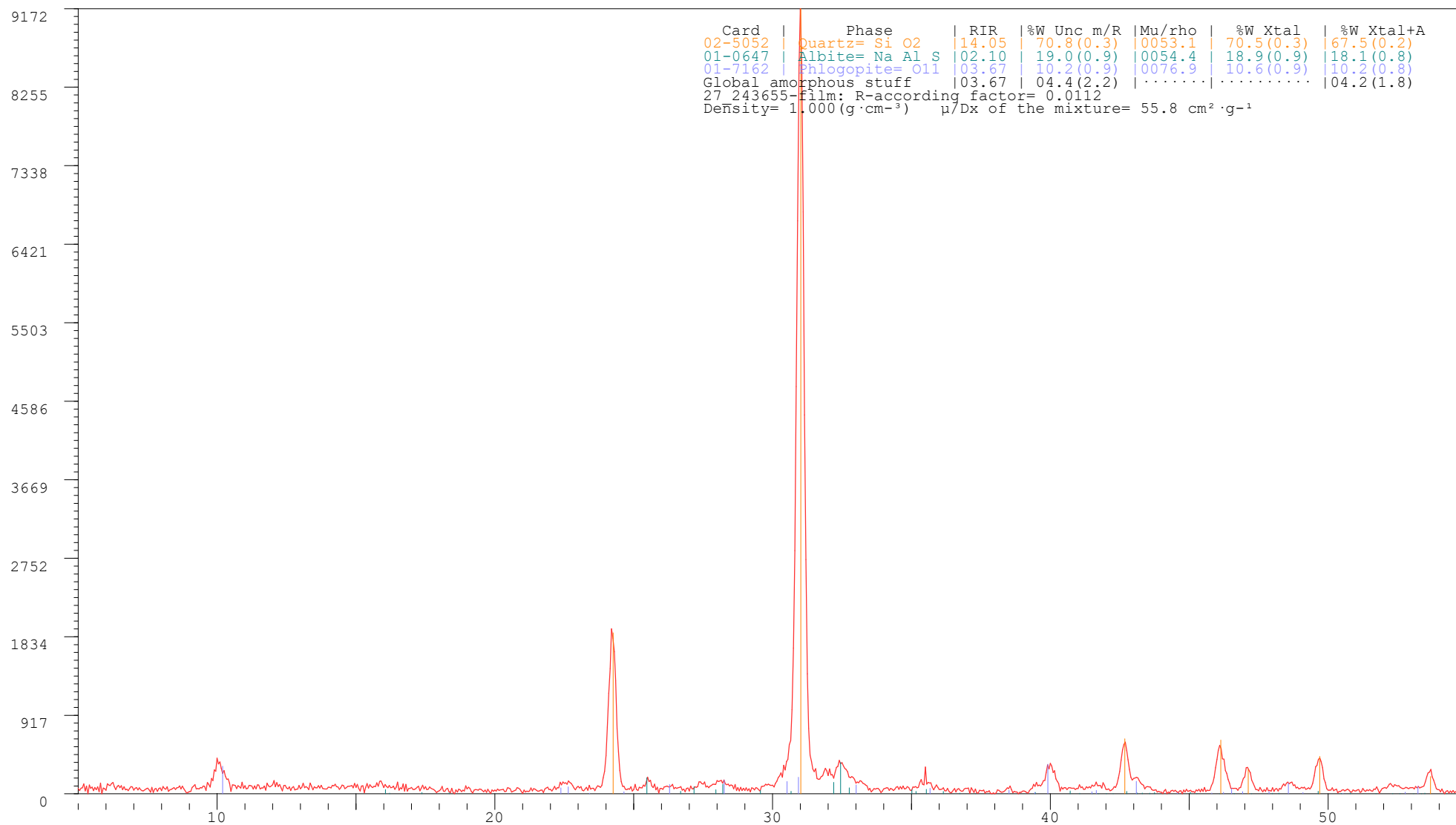
Date: 9.9.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 27_243655-film

Lambda= 1.78897

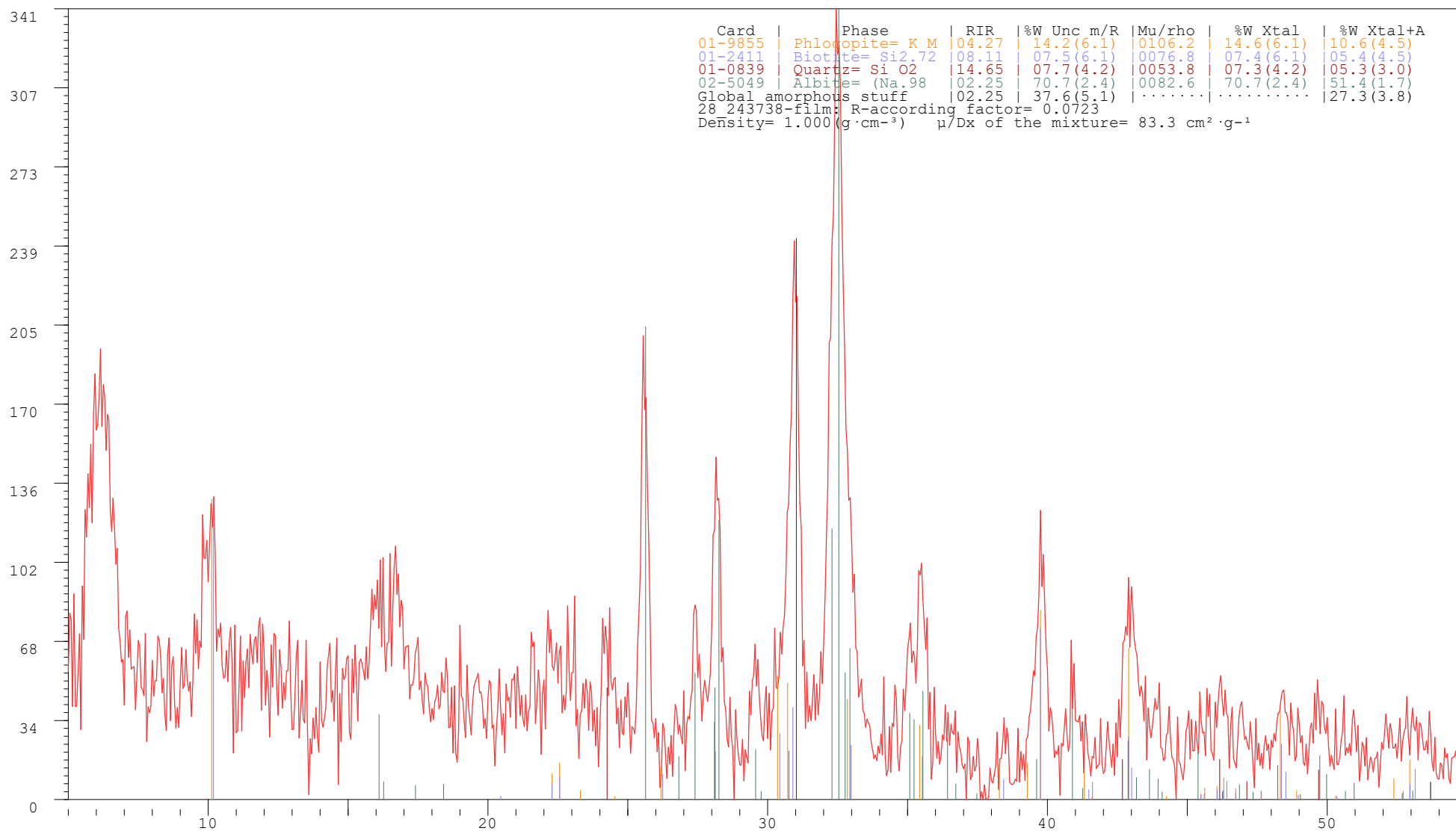
Date: 8.9.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 28_243738-film

Lambda= 1.78897

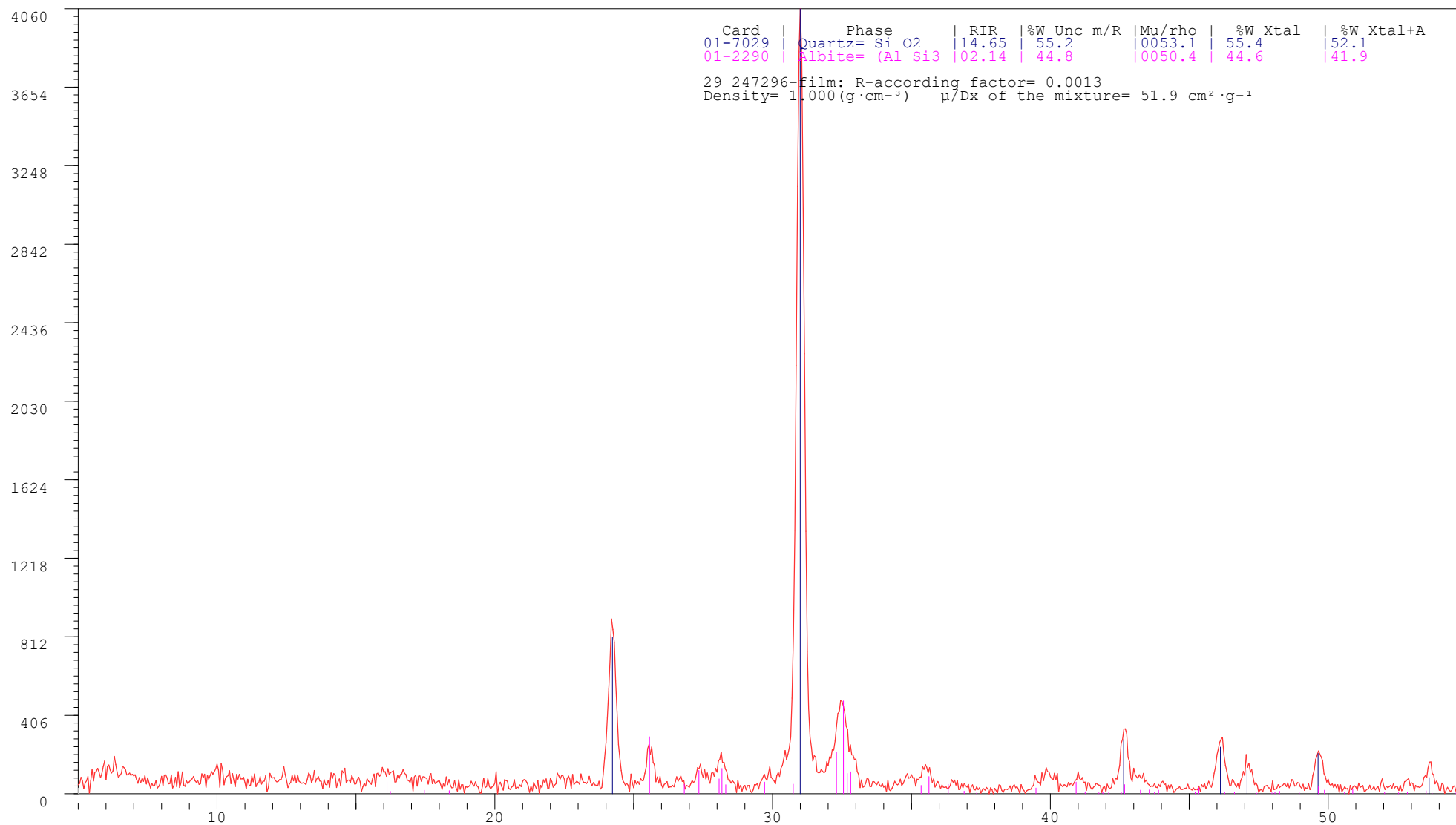
Date: 28.10.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 29_247296-film

Lambda= 1.78897

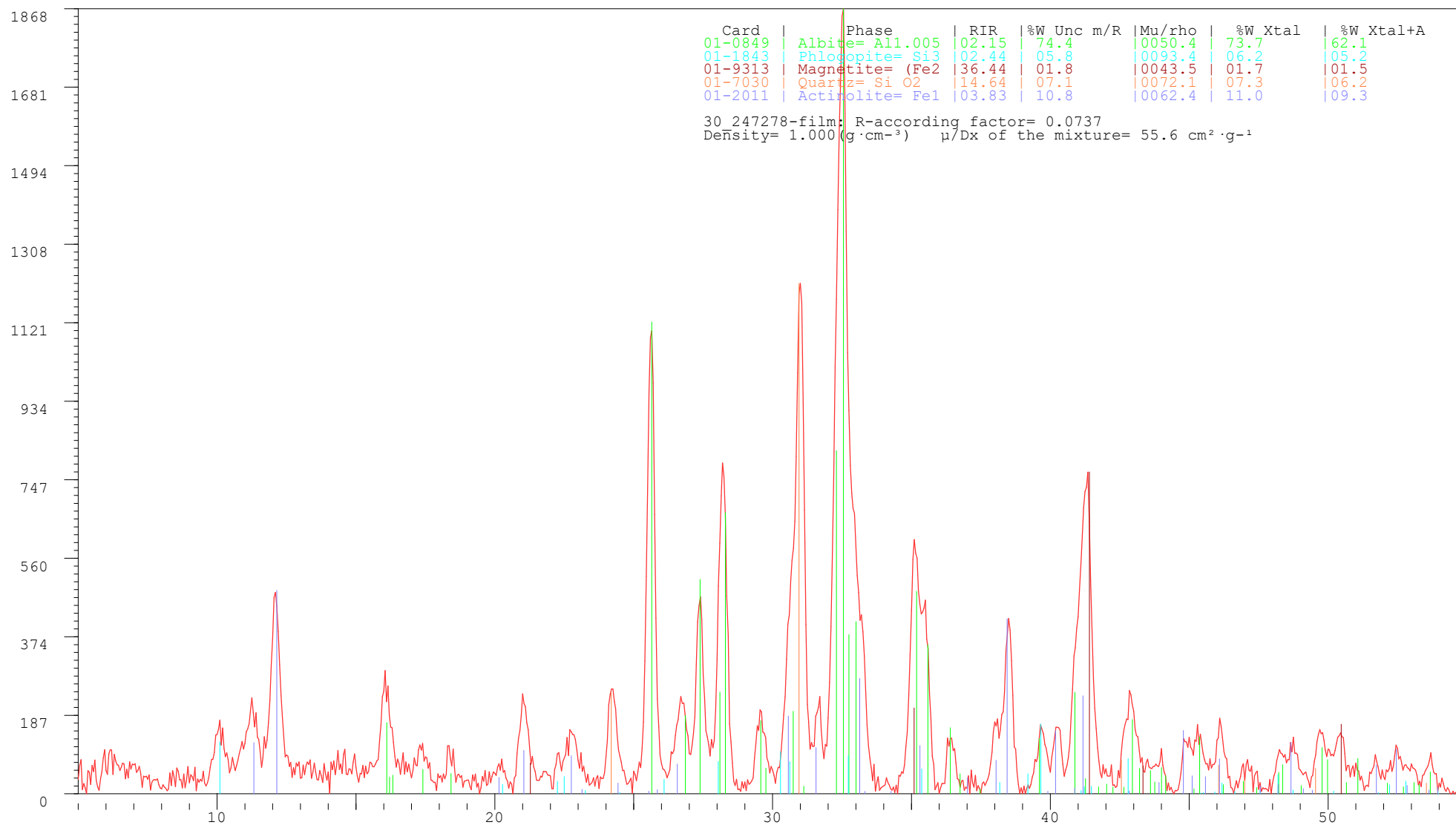
Date: 19.10.2020 · X Powder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 30_247278-film

Lambda= 1.78897

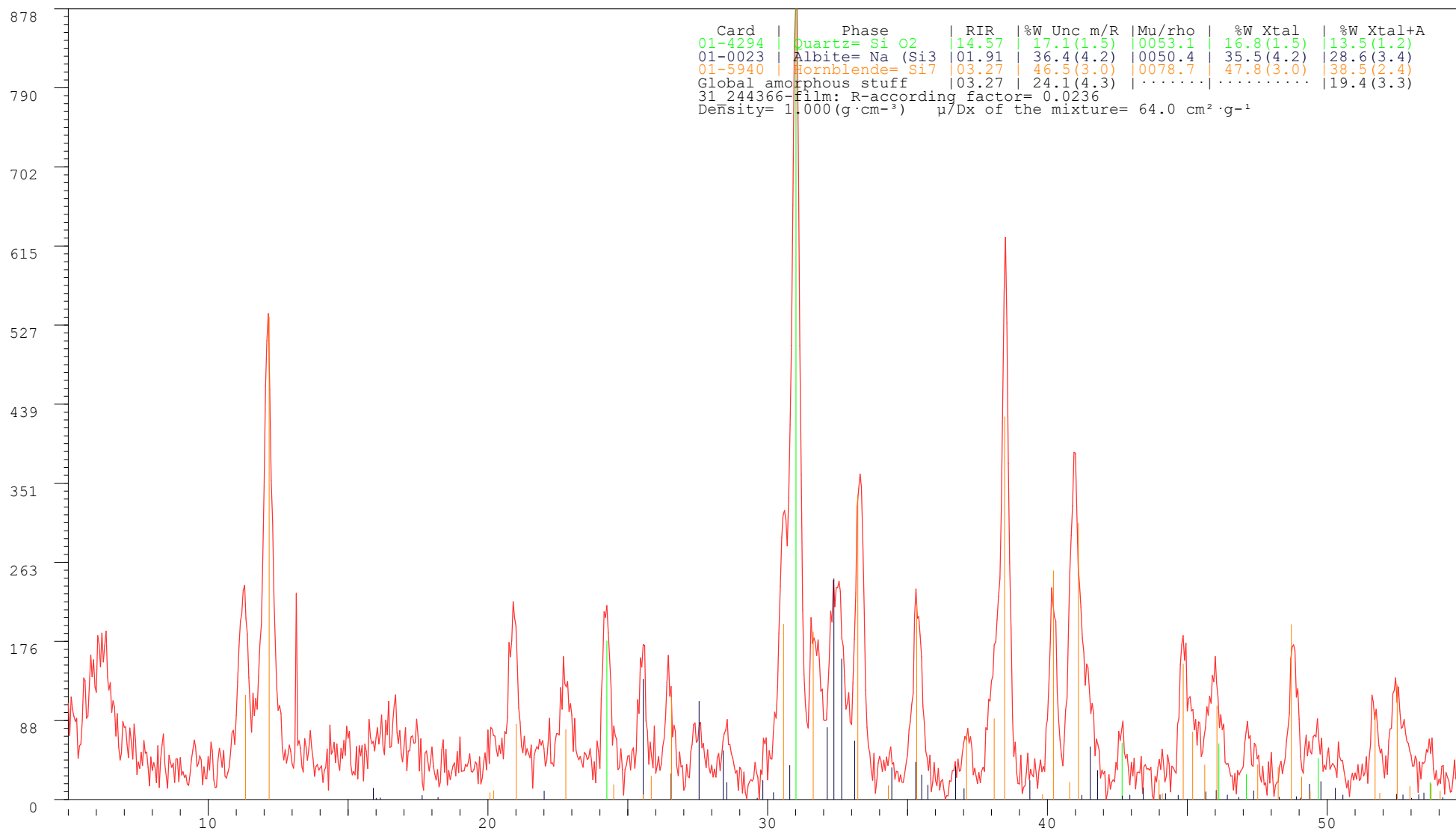
Date: 8.9.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 31_244366-film

Lambda= 1.78897

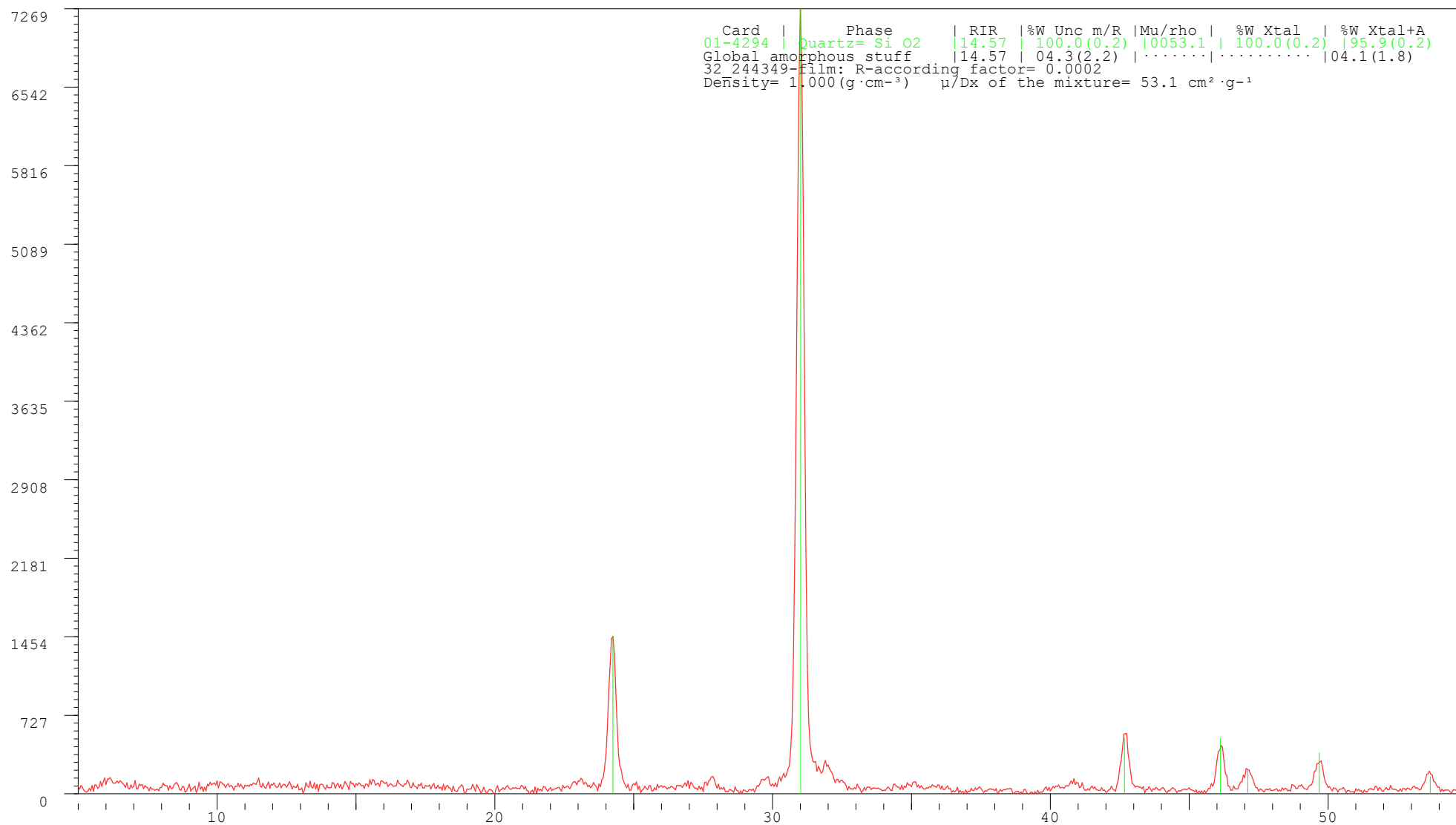
Date: 21.10.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 32_244349-film

Lambda= 1.78897

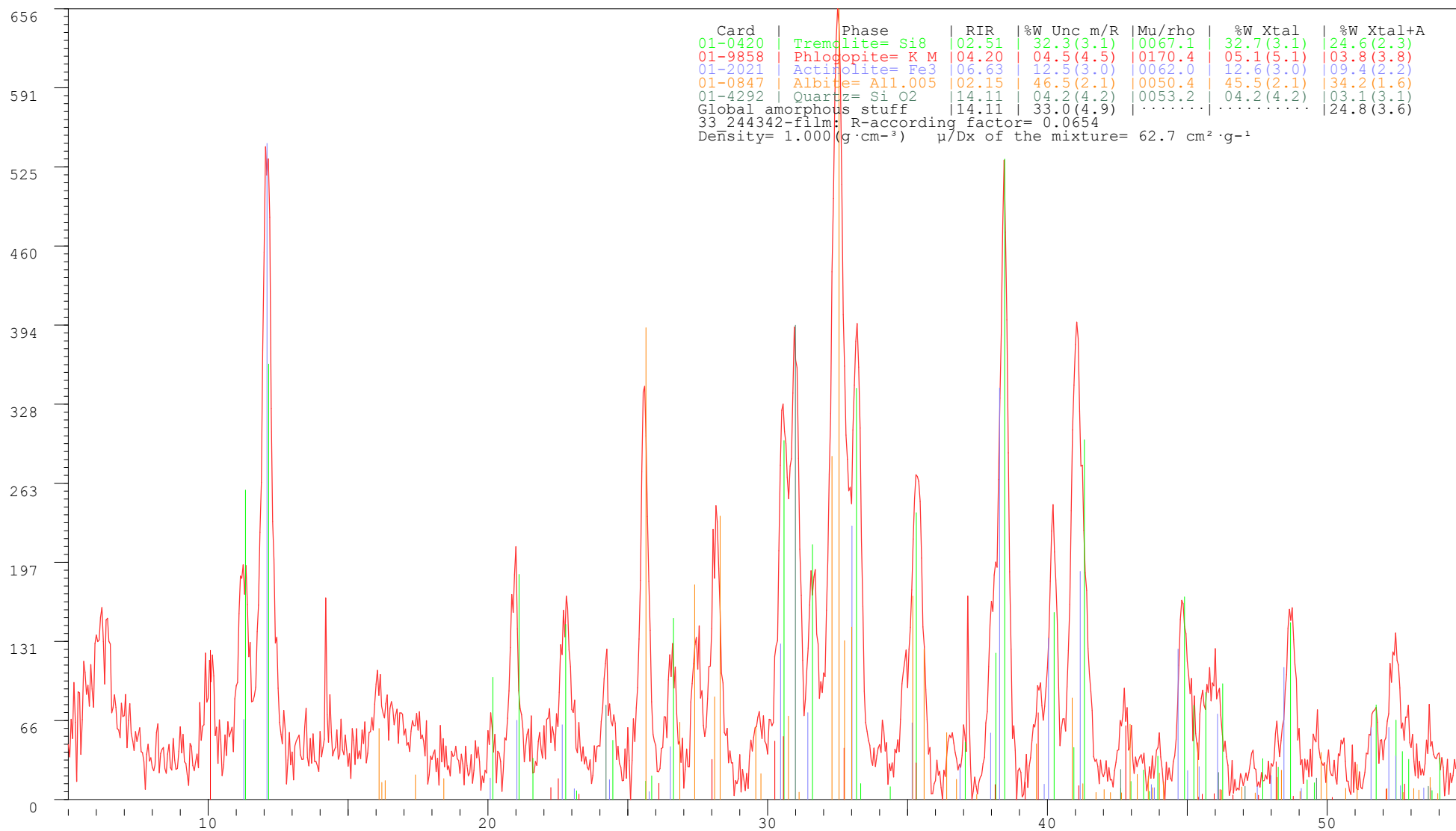
Date: 3.6.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 33_244342-film

Lambda= 1.78897

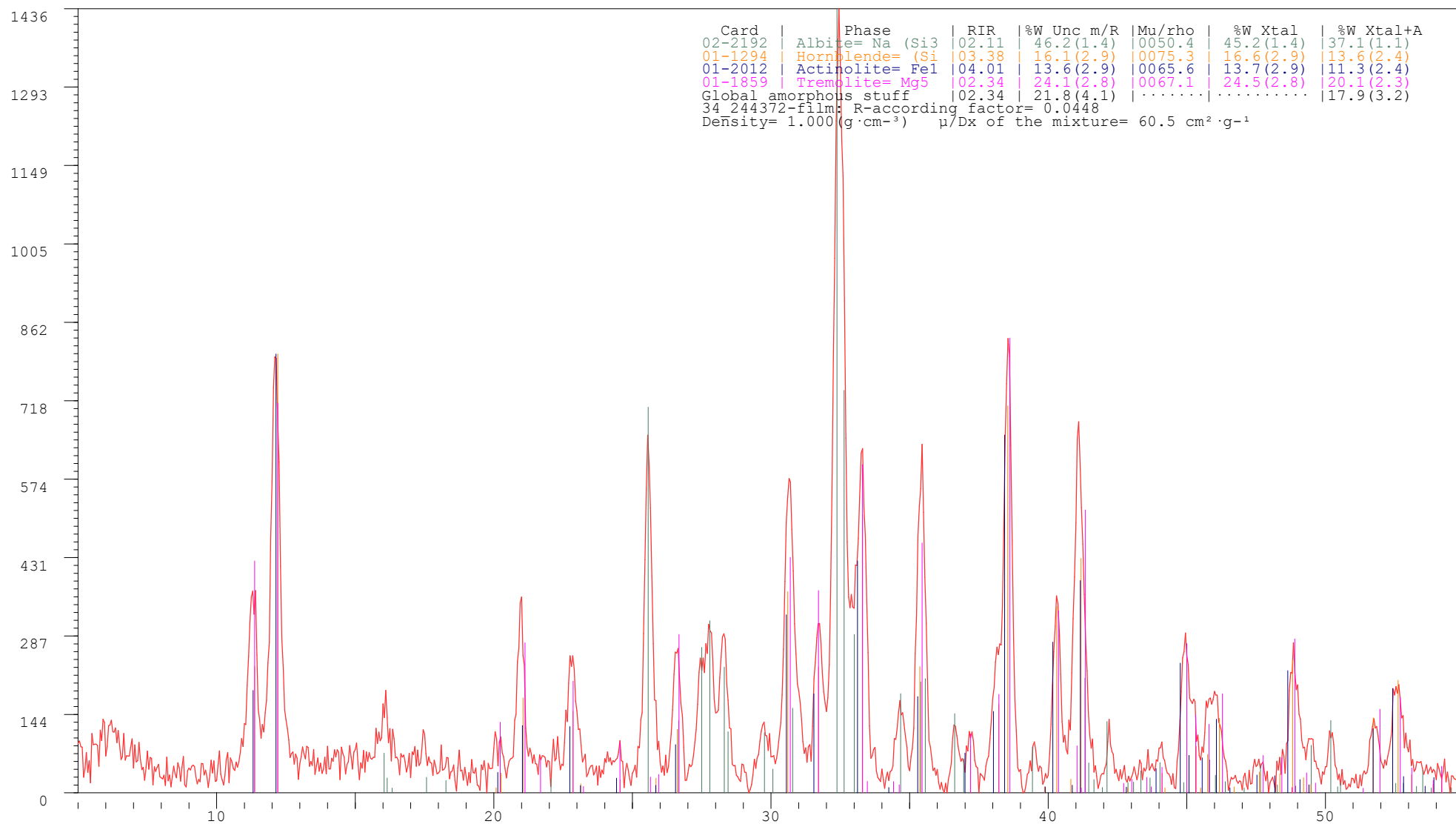
Date: 6.10.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 34_244372-film

Lambda= 1.78897

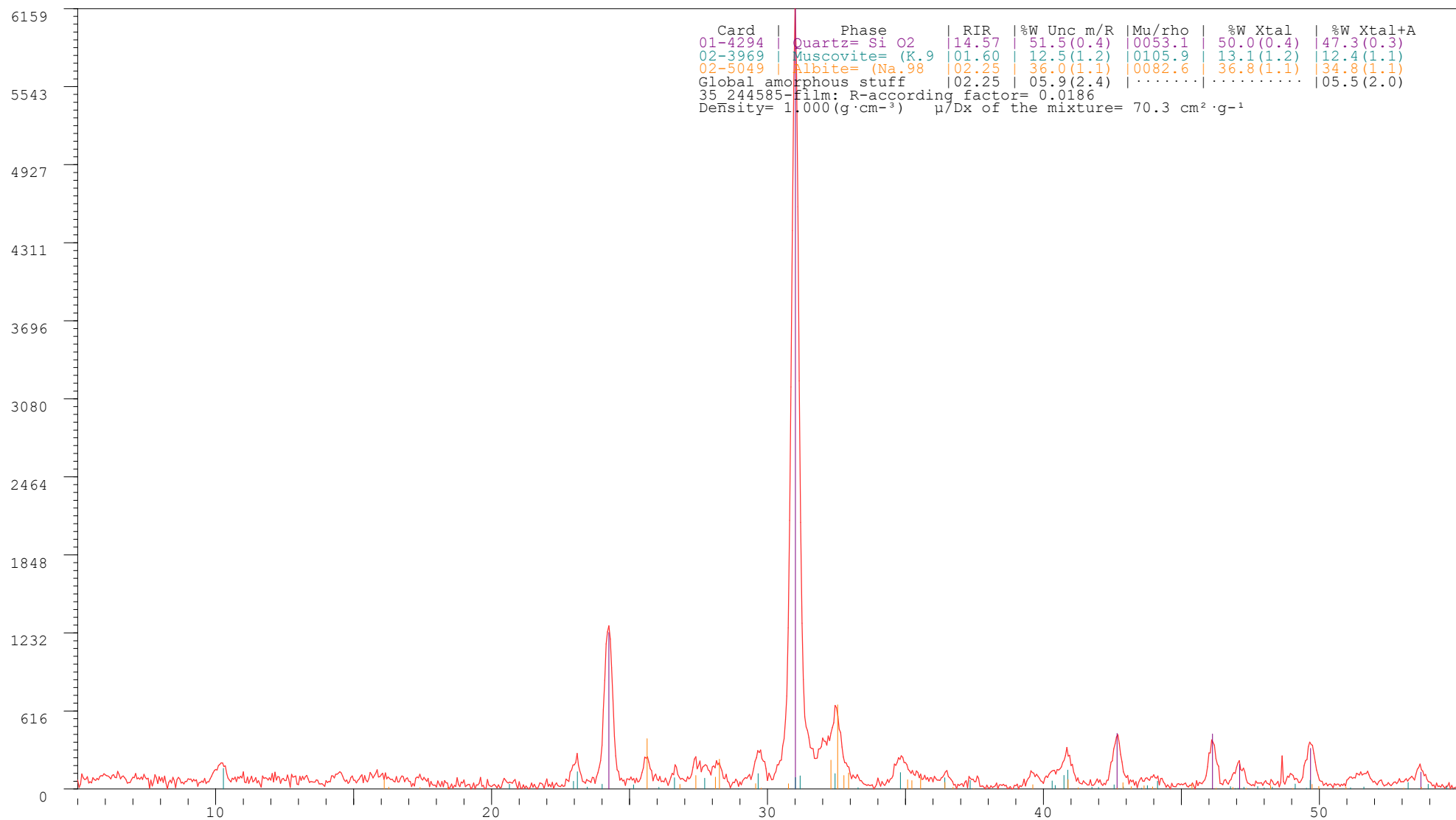
Date: 6.10.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 35_244585-film

Lambda= 1.78897

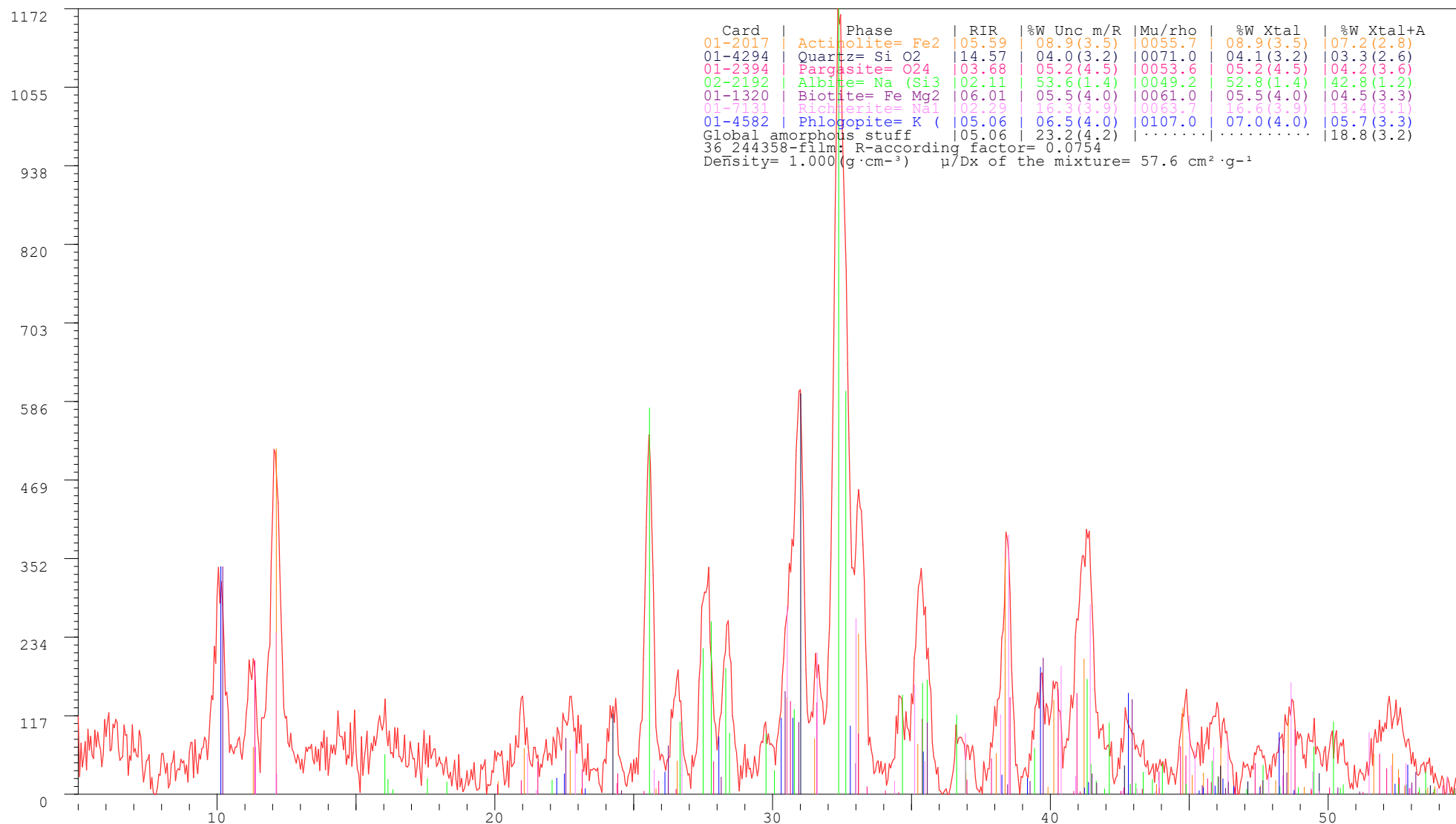
Date: 20.10.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



Sample: 36_244358-film

Lambda= 1.78897

Date: 20.10.2020 · XPowder Ver. 2010.01.35 · e_mail: support@xpowder.com <http://www.xpowder.com> · License to \inXitu Inc:Inner Use



LIITE 2

RIGAKU SMARTLAB 9 KW RÖNTGENDIFFRAKTOMETRI (XRD)
ANALYYSITULOKSET PULVERINÄYTTEILLE

Quantitative Analysis Results (WPPF)

General information

Analysis date	2021/02/23 13:44:27	Measurement date	2021/01/04 13:19:10
Sample name	243738	Operator	administrator
File name	243738.ras		
Comment			

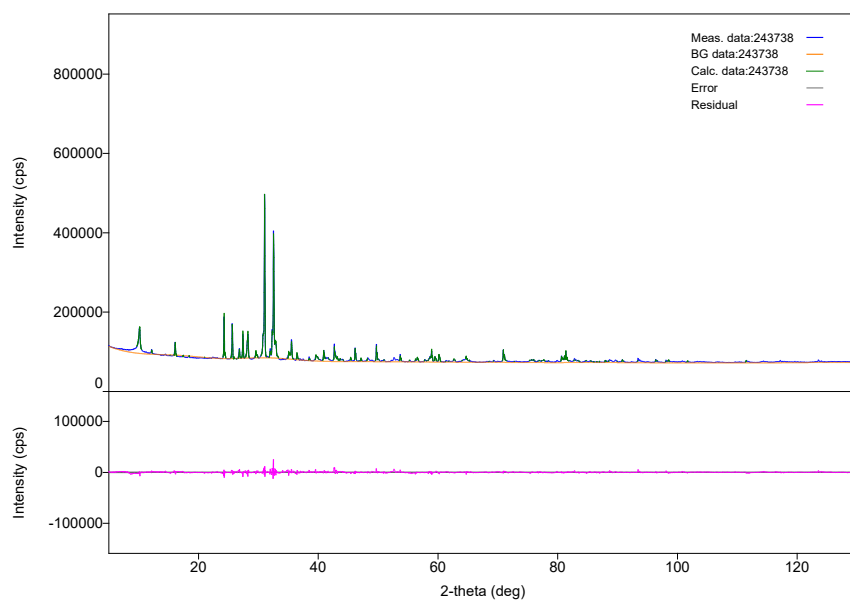
Qualitative analysis results

Phase name	Formula	Figure of merit	Phase reg. detail	DB card number
Albite	Na0.986 Al1.005	0.637	ICDD (PDF-4+ 2021)	01-072-8434
microcline	K0.97 Na0.01 Al0.98	1.375	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-013-6048
Anorthite, Na-bearing	Na0.30 Ca0.63 Al1.63	1.509	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-011-6816
a-Si O2, quartz-alpha	Si O2	0.679	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-007-0522
Ferri-tschermakite	Na0.5 Ca1.8 Mg2.2	1.338	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-012-1305
Siderophyllite-1M,	K Fe2.1 Al2.8 Si2.1	1.224	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-017-1460
Clinochlore-1M	Mg4.56 Mn0.01	1.647	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-022-0007
Chalcopyrite	Cu Fe S2	3.212	ICDD (PDF-4+ 2021)	03-065-1573
Sodium Aluminum	Na3.93 Al3.93 Si8.07	1.845	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-011-3552
Magnetite, syn	Fe3 O4	2.732	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-005-4319

Weight ratio

	Phase name	Content(%)
-	Albite	54.0(16)
-	microcline	7.1(6)
-	Anorthite, Na-bearing	1.9(3)
-	a-Si O2, quartz-alpha	22.3(7)
-	Ferri-tschermakite	3.6(3)
-	Siderophyllite-1M,	11.0(4)
-	Clinochlore-1M	0.1(6)
-	Chalcopyrite	0.0(7)
-	Sodium Aluminum	0(3)
-	Magnetite, syn	0.0(3)

Measurement profile



Quantitative Analysis Results (WPPF)

General information

Analysis date	2021/02/23 13:26:27	Measurement date	2021/01/04 12:42:33
Sample name	244342	Operator	administrator
File name	244342.ras		
Comment			

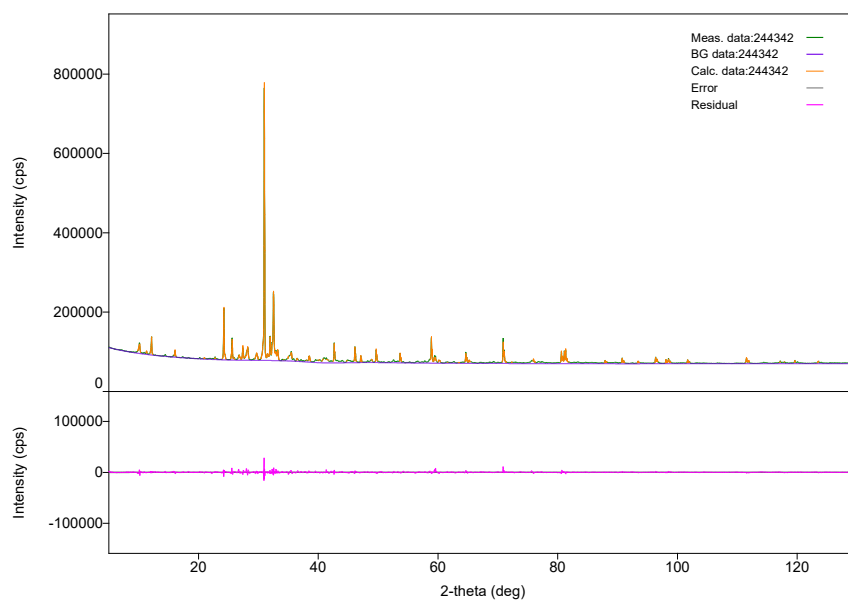
Qualitative analysis results

Phase name	Formula	Figure of merit	Phase reg. detail	DB card number
Albite	Na0.986 Al1.005	0.967	ICDD (PDF-4+ 2021)	01-072-8434
microcline	K0.97 Na0.01 Al0.98	1.634	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-013-6048
Anorthite, Na-bearing	Na0.30 Ca0.63 Al1.63	1.678	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-011-6816
a-Si O2, quartz-alpha	Si O2	0.610	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-007-0522
Ferri-tschermakite	Na0.5 Ca1.8 Mg2.2	1.042	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-012-1305
Siderophyllite-1M,	K Fe2.1 Al2.8 Si2.1	1.137	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-017-1460
Clinochlore-1M	Mg4.56 Mn0.01	1.786	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-022-0007
Chalcopyrite	Cu Fe S2	2.735	ICDD (PDF-4+ 2021)	03-065-1573
Sodium Aluminum	Na3.93 Al3.93 Si8.07	1.504	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-011-3552
Magnetite, syn	Fe3 O4	3.052	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-005-4319

Weight ratio

	Phase name	Content(%)
-	Albite	31.0(9)
-	microcline	7.0(4)
-	Anorthite, Na-bearing	2.9(18)
-	a-Si O2, quartz-alpha	34.0(9)
-	Ferri-tschermakite	13.4(5)
-	Siderophyllite-1M,	2.5(2)
-	Clinochlore-1M	4.0(3)
-	Chalcopyrite	0.03(10)
-	Sodium Aluminum	0.5(14)
-	Magnetite, syn	4.7(10)

Measurement profile



Quantitative Analysis Results (WPPF)

General information

Analysis date	2021/02/23 13:20:21	Measurement date	2021/01/05 10:50:05
Sample name	244349	Operator	administrator
File name	244349.ras		
Comment			

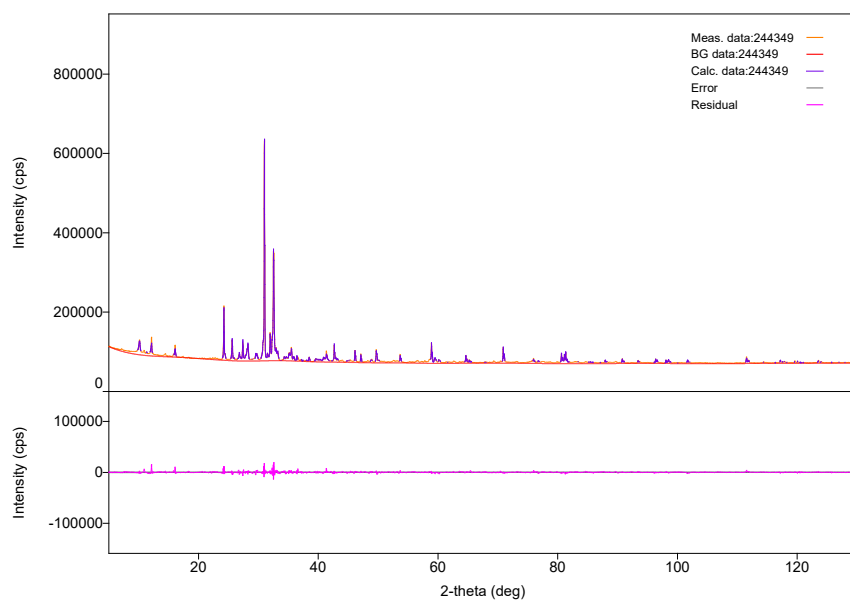
Qualitative analysis results

Phase name	Formula	Figure of merit	Phase reg. detail	DB card number
Albite	Na0.986 Al1.005	0.693	ICDD (PDF-4+ 2021)	01-072-8434
microcline	K0.97 Na0.01 Al0.98	1.627	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-013-6048
Anorthite, Na-bearing	Na0.30 Ca0.63 Al1.63	1.499	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-011-6816
a-Si O2, quartz-alpha	Si O2	0.590	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-007-0522
Ferri-tschermakite	Na0.5 Ca1.8 Mg2.2	1.124	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-012-1305
Siderophyllite-1M,	K Fe2.1 Al2.8 Si2.1	0.944	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-017-1460
Clinochlore-1M	Mg4.56 Mn0.01	1.637	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-022-0007
Chalcopyrite	Cu Fe S2	2.611	ICDD (PDF-4+ 2021)	03-065-1573
Sodium Aluminum	Na3.93 Al3.93 Si8.07	1.455	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-011-3552
Magnetite, syn	Fe3 O4	2.847	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-005-4319

Weight ratio

	Phase name	Content(%)
-	Albite	33.1(7)
-	microcline	11.0(4)
-	Anorthite, Na-bearing	8.4(5)
-	a-Si O2, quartz-alpha	26.9(5)
-	Ferri-tschermakite	5.1(2)
-	Siderophyllite-1M,	2.8(2)
-	Clinochlore-1M	4.4(4)
-	Chalcopyrite	0.04(10)
-	Sodium Aluminum	7.7(15)
-	Magnetite, syn	0.51(15)

Measurement profile



Quantitative Analysis Results (WPPF)

General information

Analysis date	2021/02/23 13:10:10	Measurement date	2021/01/05 10:15:42
Sample name	244358	Operator	administrator
File name	244358.ras		
Comment			

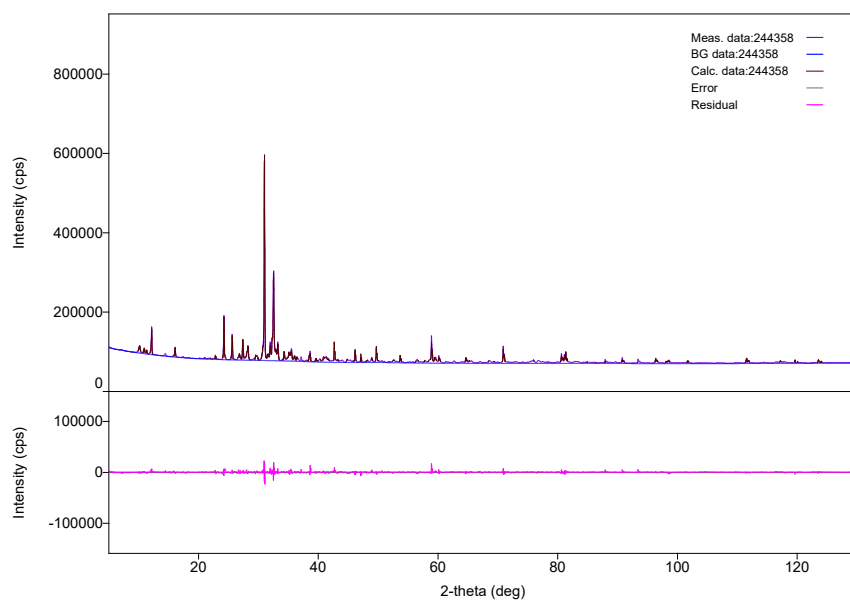
Qualitative analysis results

Phase name	Formula	Figure of merit	Phase reg. detail	DB card number
Albite	Na0.986 Al1.005	1.056	ICDD (PDF-4+ 2021)	01-072-8434
microcline	K0.97 Na0.01 Al0.98	3.151	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-013-6048
Anorthite, Na-bearing	Na0.30 Ca0.63 Al1.63	3.151	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-011-6816
a-Si O2, quartz-alpha	Si O2	0.716	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-007-0522
Ferri-tschermakite	Na0.5 Ca1.8 Mg2.2	1.149	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-012-1305
Siderophyllite-1M,	K Fe2.1 Al2.8 Si2.1	1.260	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-017-1460
Clinochlore-1M	Mg4.56 Mn0.01	1.773	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-022-0007
Chalcopyrite	Cu Fe S2	2.496	ICDD (PDF-4+ 2021)	03-065-1573
Sodium Aluminum	Na3.93 Al3.93 Si8.07	1.135	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-011-3552
Magnetite, syn	Fe3 O4	2.797	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-005-4319

Weight ratio

	Phase name	Content(%)
-	Albite	29.9(6)
-	microcline	2.6(3)
-	Anorthite, Na-bearing	15.7(13)
-	a-Si O2, quartz-alpha	27.5(5)
-	Ferri-tschermakite	15.5(4)
-	Siderophyllite-1M,	2.9(2)
-	Clinochlore-1M	3.4(3)
-	Chalcopyrite	0.46(7)
-	Sodium Aluminum	0.00(17)
-	Magnetite, syn	1.97(15)

Measurement profile



Quantitative Analysis Results (WPPF)

General information

Analysis date	2021/02/23 12:52:22	Measurement date	2021/01/04 11:31:50
Sample name	244372	Operator	administrator
File name	244372.ras		
Comment			

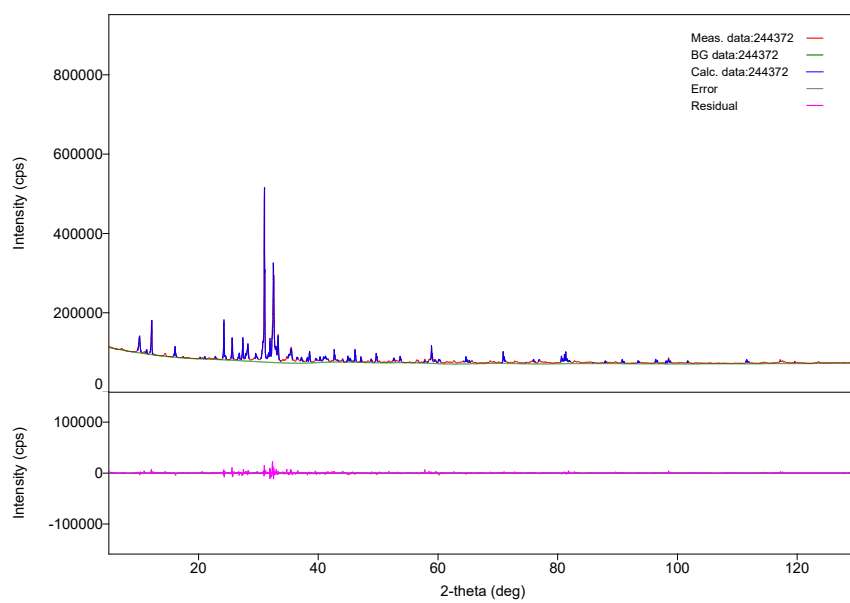
Qualitative analysis results

Phase name	Formula	Figure of merit	Phase reg. detail	DB card number
Albite	Na0.986 Al1.005	0.846	ICDD (PDF-4+ 2021)	01-072-8434
microcline	K0.97 Na0.01 Al0.98	1.952	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-013-6048
Anorthite, Na-bearing	Na0.30 Ca0.63 Al1.63	1.720	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-011-6816
a-Si O2, quartz-alpha	Si O2	0.904	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-007-0522
Ferri-tschermakite	Na0.5 Ca1.8 Mg2.2	1.308	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-012-1305
Siderophyllite-1M,	K Fe2.1 Al2.8 Si2.1	1.103	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-017-1460
Clinochlore-1M	Mg4.56 Mn0.01	1.353	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-022-0007
Chalcopyrite	Cu Fe S2	3.061	ICDD (PDF-4+ 2021)	03-065-1573

Weight ratio

	Phase name	Content(%)
-	Albite	45.6(18)
-	microcline	1.4(4)
-	Anorthite, Na-bearing	10(3)
-	a-Si O2, quartz-alpha	21.6(8)
-	Ferri-tschermakite	18.5(7)
-	Siderophyllite-1M,	2.00(18)
-	Clinochlore-1M	0.4(3)
-	Chalcopyrite	0.1(7)

Measurement profile



Quantitative Analysis Results (WPPF)

General information

Analysis date	2021/02/23 12:45:14	Measurement date	2021/01/04 13:53:41
Sample name	244492	Operator	administrator
File name	244492.ras		
Comment			

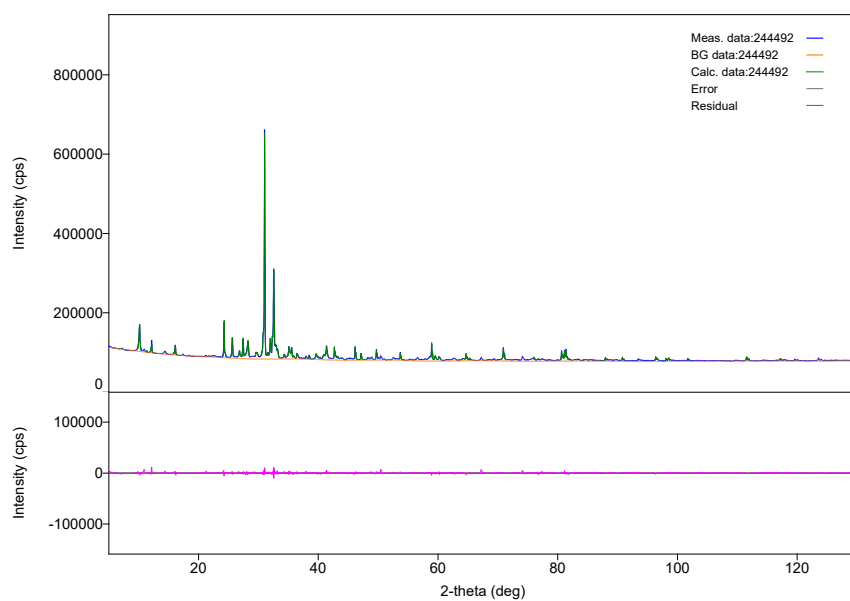
Qualitative analysis results

Phase name	Formula	Figure of merit	Phase reg. detail	DB card number
Albite	Na0.986 Al1.005	0.943	ICDD (PDF-4+ 2021)	01-072-8434
microcline	K0.97 Na0.01 Al0.98	1.426	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-013-6048
Anorthite, Na-bearing	Na0.30 Ca0.63 Al1.63	1.537	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-011-6816
a-Si O2, quartz-alpha	Si O2	0.650	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-007-0522
Ferri-tschermakite	Na0.5 Ca1.8 Mg2.2	1.303	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-012-1305
Siderophyllite-1M,	K Fe2.1 Al2.8 Si2.1	0.921	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-017-1460
Clinochlore-1M	Mg4.56 Mn0.01	1.367	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-022-0007
Chalcopyrite	Cu Fe S2	2.842	ICDD (PDF-4+ 2021)	03-065-1573

Weight ratio

	Phase name	Content(%)
-	Albite	33.1(7)
-	microcline	14.0(5)
-	Anorthite, Na-bearing	10.5(8)
-	a-Si O2, quartz-alpha	25.1(4)
-	Ferri-tschermakite	5.4(2)
-	Siderophyllite-1M,	5.4(2)
-	Clinochlore-1M	3.5(5)
-	Chalcopyrite	3.0(2)

Measurement profile



Quantitative Analysis Results (WPPF)

General information

Analysis date	2021/02/23 12:33:50	Measurement date	2021/01/05 09:41:08
Sample name	247278	Operator	administrator
File name	247278.ras		
Comment			

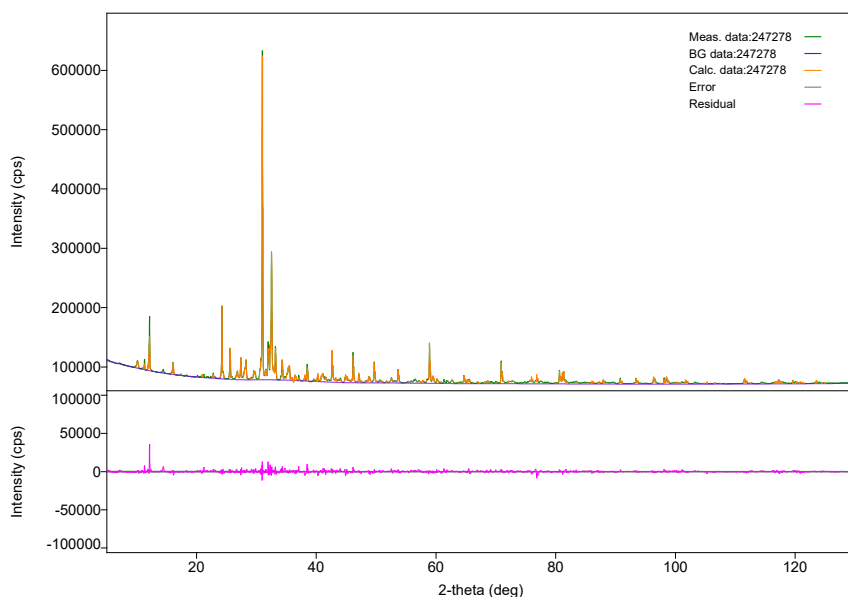
Qualitative analysis results

Phase name	Formula	Figure of merit	Phase reg. detail	DB card number
Albite	Na0.986 Al1.005	1.190	ICDD (PDF-4+ 2021)	01-072-8434
microcline	K0.97 Na0.01 Al0.98	1.472	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-013-6048
Anorthite, Na-bearing	Na0.30 Ca0.63 Al1.63	1.385	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-011-6816
a-Si O2, quartz-alpha	Si O2	0.604	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-007-0522
Ferri-tschemakite	Na0.5 Ca1.8 Mg2.2	1.098	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-012-1305
Siderophyllite-1M,	K Fe2.1 Al2.8 Si2.1	1.668	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-017-1460

Weight ratio

	Phase name	Content(%)
-	Albite	30.3(7)
-	microcline	9.0(6)
-	Anorthite, Na-bearing	6.8(7)
-	a-Si O2, quartz-alpha	34.7(6)
-	Ferri-tschemakite	14.4(4)
-	Siderophyllite-1M,	4.7(4)

Measurement profile



Quantitative Analysis Results (WPPF)

General information

Analysis date	2021/02/23 12:22:38	Measurement date	2021/01/04 12:06:29
Sample name	251217	Operator	administrator
File name	251217.ras		
Comment			

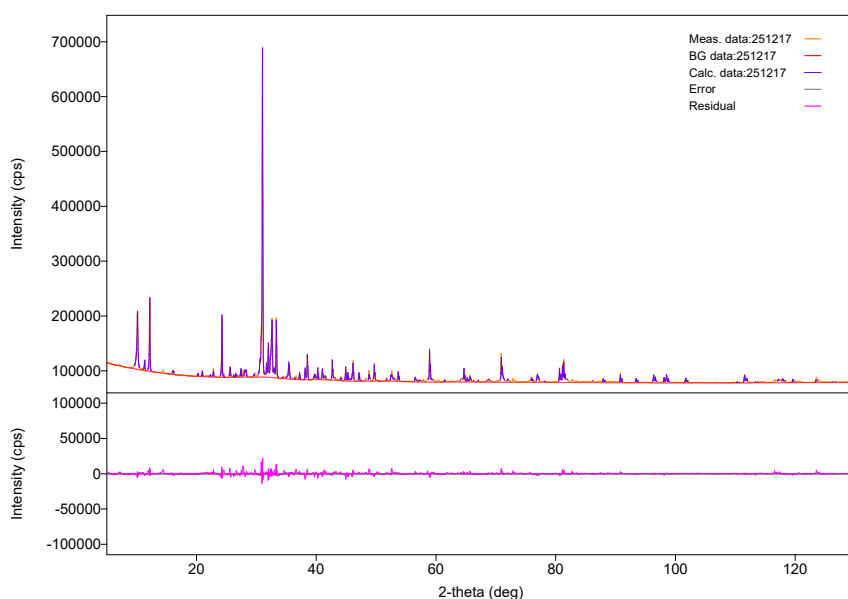
Qualitative analysis results

Phase name	Formula	Figure of merit	Phase reg. detail	DB card number
a-Si O ₂ , quartz-alpha	Si O ₂	0.583	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-007-0522
Ferri-tschermakite	Na _{0.5} Ca _{1.8} Mg _{2.2}	0.699	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-012-1305
Siderophyllite-1M,	K Fe _{2.1} Al _{2.8} Si _{2.1}	0.825	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-017-1460
Albite	Na _{0.98} Ca _{0.02} Al _{1.02}	0.997	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-017-1022
Calciolangbeinite/lang	K ₂ Ca Mg (S O ₄) ₃	1.443	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-024-3079

Weight ratio

	Phase name	Content(%)
-	a-Si O ₂ , quartz-alpha	41.3(4)
-	Ferri-tschermakite	33.0(4)
-	Siderophyllite-1M,	8.8(3)
-	Albite	16.6(7)
-	Calciolangbeinite/langbeinite,	0.20(19)

Measurement profile



Quantitative Analysis Results (WPPF)

General information

Analysis date	2021/02/23 13:52:05	Measurement date	2021/01/04 14:29:07
Sample name	243656	Operator	administrator
File name	243656.ras		
Comment			

Qualitative analysis results

Phase name	Formula	Figure of merit	Phase reg. detail	DB card number
Albite	Na0.986 Al1.005	1.352	ICDD (PDF-4+ 2021)	01-072-8434
microcline	K0.97 Na0.01 Al0.98	1.637	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-013-6048
Anorthite, Na-bearing	Na0.30 Ca0.63 Al1.63	1.445	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-011-6816
a-Si O2, quartz-alpha	Si O2	0.610	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-007-0522
Ferri-tschermakite	Na0.5 Ca1.8 Mg2.2	1.560	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-012-1305
Siderophyllite-1M,	K Fe2.1 Al2.8 Si2.1	1.155	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-017-1460
Clinochlore-1M	Mg4.56 Mn0.01	1.402	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-022-0007
Chalcopyrite	Cu Fe S2	2.745	ICDD (PDF-4+ 2021)	03-065-1573
Sodium Aluminum	Na3.93 Al3.93 Si8.07	1.951	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-011-3552
Magnetite, syn	Fe3 O4	2.874	ICDD (PDF-4+ 2021)	04-005-4319

Weight ratio

	Phase name	Content(%)
-	Albite	26.1(9)
-	microcline	12.4(6)
-	Anorthite, Na-bearing	1.9(18)
-	a-Si O2, quartz-alpha	42.4(11)
-	Ferri-tschermakite	6.3(3)
-	Siderophyllite-1M,	4.2(3)
-	Clinochlore-1M	0.9(3)
-	Chalcopyrite	0.1(2)
-	Sodium Aluminum	0.0(8)
-	Magnetite, syn	5.8(12)

Measurement profile

